



# Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2019 Том 14 № 4  
DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4

[agrojournal.rudn.ru](http://agrojournal.rudn.ru)

Научный журнал

Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61171 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

## Главный редактор

**Плющиков В.Г.**, д-р с.-х. наук,  
профессор, директор АТИ РУДН,  
Москва, Российская Федерация  
E-mail: [plushchikov-vg@rudn.ru](mailto:plushchikov-vg@rudn.ru)

## Заместитель главного редактора

**Докукин П.А.**, канд. техн. наук, доцент  
Агроинженерного департамента АТИ  
РУДН, Москва, Российская Федерация  
E-mail: [dokukin-pa@rudn.ru](mailto:dokukin-pa@rudn.ru)

## Ответственный секретарь

**Терехин А.А.**, канд. с.-х. наук, доцент  
АТИ РУДН, Москва,  
Российская Федерация  
E-mail: [terekhin-aa@rudn.ru](mailto:terekhin-aa@rudn.ru)

## Члены редакционной коллегии

**Аббоуд-Аби Сааб М.**, д-р филос. (биология), ведущий научный сотрудник, Национальный центр исследований морской фауны Ливана, Бейрут, Ливан

**Акимов В.А.**, д-р тех. наук, проф., главный научный сотрудник, ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, РФ

**Альтшулер А.М.**, д-р мед. и общ. наук, проф., Научно-исследовательский институт по чрезвычайным ситуациям, Израиль

**Аун Жорж Э.**, профессор, Государственный университет Ливана, Бейрут, Ливан

**Ашайеризаде О.**, PhD, доцент, Горганский университет сельскохозяйственных наук и природных ресурсов, Горган, Иран

**Бабински Л.**, PhD, проф., Дебреценский университет, Дебрецен, Венгрия

**Балестра Д.М.**, д-р филос. (биология), проф., ведущий научный сотрудник, Университет Тушин, Италия

**Бородычев В.В.**, д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, Волгоградский филиал ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова, Волгоград, РФ

**Валентини Р.**, д-р биол. наук, проф., Университет Тушин, Витербо, Италия

**Ватников Ю.А.**, д-р вет. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

**Гитас И.**, PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

**Донник И.М.**, академик РАН, вице-президент РАН, Москва, РФ

**Дубенок Н.Н.**, д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

**Еланский С.Н.**, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ

**Зволинский В.П.**, д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, директор, Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, п. Соленое Займище, Астраханская обл., РФ

**Игнатов А.Н.**, д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «Биоинженерия» РАН, Москва, РФ

**Карвальо П.А.**, PhD, проф., Университет Бразилиа, Бразилиа

**Ковеос Д.**, PhD, проф., декан факультета сельского хозяйства и природных ресурсов, Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

**Комитов Б.**, PhD, проф., Институт астрономии Болгарской академии наук, София, Болгария

**Кузнецов Вл.В.**, д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

**Левин Е.А.**, канд. техн. наук, доц., Мичиганский технологический университет, Мичиган-Сити, США

**Мадзалья А.**, д-р филос. (биология), проф., научный сотрудник, Университет Тушин, Италия

**Медаввар С.**, проф., декан сельскохозяйственного факультета, Ливанский государственный университет, Бейрут, Ливан

**Новиков А.Е.**, д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, РФ

**Овчинников А.С.**, д-р с.-х. наук, профессор, чл.-кор. РАН, Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, РФ

**Савин И.Ю.**, д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, РФ

**Статакис Д.**, PhD, проф., департамент планирования и регионального развития, Университет Фессалии, Волос, Греция

**Сычев В.Г.**, д-р с.-х. наук, академик РАН, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, РФ

**Уша Б.В.**, д-р вет. наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАН, Институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Московский государственный университет пищевых производств, Москва, РФ

**Чамурлиев Г.О.**, зам. отв. секретаря редколлегии, канд. с.-х. наук, РУДН, Москва, РФ

**Шаад Н.В.**, д-р филос. (биология), проф., ведущий бактериолог, Министерство сельского хозяйства США, Вашингтон, США

**Вестник Российского университета дружбы народов.  
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО**

ISSN 2312-7988 (online); 2312-797X (print)

4 выпуска в год.

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), Cyberleninka, DOAJ, CABI, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

**Цели и тематика.** Журнал *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство (Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство)* — периодическое рецензируемое научное издание в области сельского хозяйства. Журнал является международным как по составу авторов и тематике публикаций, отражающей проблематику научных исследований в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

Редакционная коллегия принимает к рассмотрению материалы по направлениям: агрономия, животноводство, ветеринария, зоотехния, ветеринарно-санитарная экспертиза, техносферная безопасность, землеустройство и кадастры, ландшафтная архитектура — для подготовки тематических выпусков с участием приглашенных редакторов.

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 03.02.01 Ботаника, 03.02.13 Почвоведение, 06.01.01 Общее земледелие растениеводство, 06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель, 06.01.04 Агрохимия, 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений, 06.01.06 Луговоеводство и лекарственные эфирно-масличные культуры, 06.01.07 Защита растений, 06.01.09 Овощеводство, 06.02.01 Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных (ветеринарные науки), 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксинологией и иммунология (ветеринарные науки), 06.02.04 Ветеринарная хирургия (ветеринарные науки), 06.02.07 Разведение селекция и генетика сельскохозяйственных животных (сельскохозяйственные науки), 06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства (сельскохозяйственные науки).

Требования к статьям и правила рецензирования, электронный архив в открытом доступе и иная дополнительная информация размещены на сайте журнала: <http://agrojournal.rudn.ru>.

---

Редакторы: *О.В. Горячева, М.И. Яблонская,*

Компьютерная верстка: *Е.П. Довголевская*

**Адрес редакции:**

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Почтовый адрес редакции**

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2

Тел.: (495) 434-70-07; e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Подписано в печать 28.12.2019. Выход в свет 30.12.2019. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 31,62. Тираж 500 экз. Заказ № 1857. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3,

тел. (495) 952-04-41; [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



# RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2019 VOLUME 14 No. 4  
DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4  
agrojournal.rudn.ru

Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

---

## EDITOR-IN-CHIEF

*Prof. Dr. V.G. Plyushchikov*  
RUDN University, Moscow,  
Russian Federation  
**E-mail:** pliyushchikov-vg@rudn.ru

## DEPUTY CHIEF EDITOR

*D-r P.A. Dokukin*  
RUDN University, Moscow,  
Russian Federation  
**E-mail:** dokukin-pa@rudn.ru

## EXECUTIVE SECRETARY

*Dr. A.A. Terekhin*  
RUDN University, Moscow,  
Russian Federation  
**E-mail:** terekhin-aa@rudn.ru

## EDITORIAL BOARD

*Marie Abboud-Abi Saab*, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, National Centre of Sea Animals Research of Lebanon, Beirut, Lebanon

*Valeriy A. Akimov*, Professor, Dr of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Institute for Research of Civil Defense and Emergencies Situations of the Emergencies Ministry of Russia, Moscow, Russian Federation

*Aleksandr M. Altshuler*, Dr of Medical and Social Sciences, Professor, Emergency Research Institute, Israel

*Georges Emilo Aoun*, Professor, Lebanese University, Beirut, Lebanon

*Omid Ashayerizadeh*, PhD, Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

*Laszlo Babinszky*, PhD, Professor, University of Debrecen, Debrecen, Hungary

*Giorgio M. Balestra*, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy

*Viktor V. Borodychev*, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Volgograd Branch of Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Volgograd, Russian Federation

*Georgiy O. Chamurliiev*, Deputy Executive Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Agricultural Engineering Department, Agrarian Technological Institute, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Paulo A. Carvalho*, PhD, Professor, University of Brasilia, Brazil

*Irina M. Donnik*, Academician of RAS, Vice-president of RAS, Moscow, Russian Federation

*Nikolay N. Dubenok*, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy of Timiryazev, Moscow, Russian Federation

*Sergey N. Elanskiy*, Professor, Dr Biology science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Ioannis Gitas*, PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

*Aleksandr N. Ignatov*, Professor, Dr of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Centre "Bioengineering", RAS, Moscow, Russian Federation

*Dimitris Koveos*, Professor, PhD, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

*Boris Komitov*, PhD, Professor, Institute of Astronomy of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

*Vladimir V. Kuznetsov*, Professor, Dr of Biological Sciences, Corresponding Member of RAS, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Moscow, Russian Federation

*Eugene A. Levin*, Associate professor, PhD in Photogrammetry, Michigan Technological University, United States

*Angelo Mazzaglia*, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy

*Samir Medawar*, Professor, dean of the Agricultural Faculty, Lebanese University, Beirut, Lebanon

*Andrey E. Novikov*, Dr of Technical Sciences, Department of Processes and Apparatus of Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

*Aleksey S. Ovchinnikov*, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

*Igor Y. Savin*, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Soil Institute of V.V. Dokuchaev, Moscow, Russian Federation

*Viktor G. Sychev*, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the RAS, director, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry RAS, Moscow, Russian Federation

*Norman V. Schaad*, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), USA Ministry of Agriculture, Washington, United States

*Dimitris Stathakis*, Professor, PhD, University of Thessaly, Volos city, Greece

*Boris V. Usha*, Honoured Scientist of Russia, Academician of RAS, Dr of Veterinary Sciences, Professor, Institute of Veterinary Expertise, Sanitary and Ecology, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

*Ricardo Valentini*, Professor, Dr of Biological Sciences, Tuscia University, Italy

*Yuriy A. Vatnikov*, Professor, Dr of Veterinary Sciences, Veterinary Medicine of ATI, RUDN University, Moscow, Russian Federation

*Vyacheslav P. Zvolinskiy*, Dr of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the RAS, director, Caspian Research Institute of Arid Agriculture, Solenoye Zajmishche city, Russian Federation

**RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES**  
**Published by the RUDN University**  
**(Peoples' Friendship University of Russia),**  
**Moscow, Russian Federation**

**ISSN 2312-7988 (online); 2312-797X (print)**

Publication frequency: 4 issues per year

<http://agrojournal.rudn.ru>

e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Science Citation Index ([elibrary.ru](http://elibrary.ru)), Cyberleninka, DOAJ, CABI, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

**Aims and Scope**

*RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries* is an peer-reviewed periodical covering the latest research in the field of Agricultural Sciences. The journal is international with regard to its editorial board, contributing authors and thematic foci of the publications reflecting problems of various regions in the world.

The journal publishes original results of Russian and foreign scientific researchers and welcomes research articles, review articles, scientific reports, and bibliographic researches. The journal also publishes and disseminates the results of fundamental and applied research conducted by international collaborations of scientists on the priority problems of the agricultural sector.

The most common topics include Agronomy, Animal industries, Veterinary, Veterinary-sanitary expertise, Land use planning and cadaster, Landscape architecture.

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors.

Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

In order to expand our readership, we present our journal at scientific conferences, including the annual international conference "Innovation Processes in Agriculture", which is traditionally held at the base of the Agrarian Technological Institute of RUDN University. Each year the conference attracts many agrarian specialists from different parts of the world and continents: Europe, Asia, Africa, North and South America.

Full information for authors, reviewers, and readers (open access to electronic versions and subscription to print editions) can be found at <http://agrojournal.rudn.ru>.

---

Editors *O.V. Goryacheva, M.I. Yablonskaya*  
Computer design *E.P. Dovgolevskaya*

**Address of the Editorial Board:**

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation

Ph. +7 (495) 952-04-41

e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Postal Address of the Editorial Board:**

8/2 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation

Ph. +7 (495) 434-70-07; e-mail: [agroj@rudn.ru](mailto:agroj@rudn.ru)

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)  
6 Miklukho-Maklaya str., 117198 Moscow, Russian Federation

**Printed at RUDN Publishing House:**

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation,

Ph. +7 (495) 952-04-41; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

## Растениеводство

- Lakzian A., Bayat M., Gadzhikurbanov A., Zargar M.** The role of nanotechnology for improving crop production (Роль нанотехнологий в совершенствовании растениеводства) ..... 297
- Le V.T., Bui B.T.** Effects of Gibberellic acid, micronutrient fertilizer and Calcium nitrate foliar fertilizer on growth and yield of tomato *Solanum lycopersicum* L. cultivated in Vietnam (Влияние гибберелловой кислоты, микроудобрения и внекорневого удобрения — нитрата кальция на рост и урожайность томатов *Solanum lycopersicum* L., выращиваемых во Вьетнаме) ..... 306
- Badran A.M., Savin I.Y.** Influence of salinity on vegetative growth and photosynthetic pigments of bitter almond rootstock (Влияние засоления на вегетативный рост и фотосинтетические пигменты горького миндаля) ..... 319
- Калмыкова Е.В., Новиков А.А., Петров Н.Ю., Калмыкова О.В.** Комплексные научные исследования ресурсосберегающих приемов повышения продуктивности томата ..... 329
- Чамурлиев О.Г., Сидоров А.Н., Холод А.А., Чамурлиев Г.О., Богомолова Н.В.** Фертигация томата в открытом грунте ..... 347
- Жевора С.В.** Применение регуляторов роста и орошения на картофеле в регионах с неустойчивым увлажнением ..... 362

## Генетика и селекция

- Ahmed M.A., Abdelsatar M.A., Attia M.A., Abeer A.A.** GGE biplot analysis of Line by tester for seed yield and its attributes in sunflower (GGE biplot анализ линии с помощью тестера на урожайность семян и ее признаков в подсолнечнике) ..... 374
- Шехватова Г.В., Ашин В.В., Сотченко Е.Ф.** Определение количества ингибитора трипсина как маркера селекции сортов кукурузы с различной устойчивостью к грибковым заболеваниям ..... 390
- Ленивко С.М., Бойко В.И.** Биотехнологические подходы, снижающие биогенные риски в растениеводстве на примере картофеля ..... 403

## Защита растений

- Shahrajabian M.H., Sun W., Cheng Q.** Food security and sustainable crops production with considering climate change in China (Продовольственная безопасность и ведение устойчивого сельского хозяйства с учетом изменения климата в Китае) ..... 423
- Mahmoudi N., Naserzadeh Y., Pakina E., Limantceva L., Nejad D.K.** Molecular identification of *Ditylenchus destructor* nematode with PCR Species-Specific primers in the Moscow region (Молекулярная идентификация нематоды *Ditylenchus destructor* методом полимеразной цепной реакции с использованием специфических праймеров в Московской области) ..... 430

### **Защитное лесоразведение**

- Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Хасенов А.А., Данченко М.А.** Научное сопровождение производственных опытов в лесных культурах зеленого пояса г. Нур-Султан ..... 437

### **Почвоведение и агрохимия**

- Мезникова М.В., Борисенко И.Б., Улыбина Е.И., Бояркина О.В.** Повышение эффективности химической обработки пропашных культур в рамках полосовой технологии ..... 453

### **Животноводство**

- Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Скрябина М.П., Неустроев М.П., Парникова С.И.** Кормовая добавка из помета — источник аминокислот и полезных бактерий ..... 466

### **Ветеринария**

- Bisusa M., Bagalwa M., Zirirane D.N., Mushagalusa N., Karume K.** Biocidal activity of the extracts of *Vernonia amygdalina* against ticks responsible for livestock diseases (Биоцидная активность экстрактов *Vernonia amygdalina* против клещей, вызывающих болезни скота) ..... 481

### **Ветеринарно-санитарная экспертиза**

- Серегин И.Г., Баранович Е.С., Никитченко В.Е., Никитченко Д.В., Рысцова Е.О.** Обоснования ветеринарно-санитарной оценки мяса крупного рогатого скота при доброкачественных опухолях ..... 492

### **Агроэкономика**

- Nijimbere G., Suprunov A.I., Banyankimbona G.** Socio-economic impacts of the exploitation of the marshes of Kayanza province in the north of Burundi: case of marshes of the average Ruvubu and its tributaries (Социально-экономические последствия эксплуатации болот реки Рувубу и ее притоков в провинции Каянза на севере Бурунди) ..... 511

### **Управление и развитие АПК**

- Иванов Н.И., Шевченко Т.В., Горбунов В.С.** Статистический анализ современного развития агропромышленного комплекса в регионах России ..... 520

## CONTENTS

### Crop production

- Lakzian A., Bayat M., Gadzhikurbanov A., Zargar M.** The role of nano-technology for improving crop production ..... 297
- Le V.T., Bui B.T.** Effects of Gibberellic acid, micronutrient fertilizer and Calcium nitrate foliar fertilizer on growth and yield of tomato *Solanum lycopersicum* L. cultivated in Vietnam ..... 306
- Badran A.M., Savin I.Y.** Influence of salinity on vegetative growth and photosynthetic pigments of bitter almond rootstock ..... 319
- Kalmykova E.V., Novikov A.A., Petrov N.Yu., Kalmykova O.V.** Resource-saving techniques for increasing tomato productivity ..... 329
- Chamurliev O.G., Sidorov A.N., Kholod A.A., Chamurliev G.O., Bogomolova N.V.** Tomato fertigation in an open ground ..... 347
- Zhevora S.V.** Affect of growth regulators and irrigation on potato yield in unstable moistening regions ..... 362

### Genetics and plant breeding

- Ahmed M.A., Abdelsatar M.A., Attia M.A., Abeer A.A.** GGE biplot analysis of Line by tester for seed yield and its attributes in sunflower ..... 374
- Shekhvatova G.V., Ashin V.V., Sotchenko E.F.** Quantitative determination of trypsin inhibitor as a breeding marker in maize varieties with different resistance to fungal diseases ..... 390
- Lenivko S.M., Boiko V.I.** Biotechnological approaches to reduce biogenic risks in crop production: potato case ..... 403

### Plant protection

- Shahrajabian M.H., Sun W., Cheng Q.** Food security and sustainable crops production with considering climate change in China ..... 423
- Mahmoudi N., Naserzadeh Y., Pakina E., Limantceva L., Nejad D.K.** Molecular identification of *Ditylenchus destructor* nematode with PCR Species-Specific primers in the Moscow region ..... 430

### **Protective afforestation**

- Kabanova S.A., Kabanov A.N., Khasenov A.A., Danchenko M.A.** Scientific support of production experiments in forest plantations of green zone in Nur-Sultan city ..... 437

### **Soil science and agrochemistry**

- Meznikova M.V., Borisenko I.B., Ulybina E.I., Boyarkina O.V.** Improving efficiency of chemical processing in strip-tilled row crops ..... 453

### **Animal breeding**

- Stepanova A.M., Tarabukina N.P., Scryabina M.P., Neustroev M.P., Parnikova S.I.** Litter feed additive as source of amino acids and beneficial bacteria ..... 466

### **Veterinary science**

- Bisusa M., Bagalwa M., Zirirane D.N., Mushagalusa N., Karume K.** Biocidal activity of the extracts of *Vernonia amygdalina* against ticks responsible for livestock diseases ..... 481

### **Veterinary sanitary inspection**

- Seregin I.G., Baranovich E.S., Nikitchenko V.E., Nikitchenko D.V., Rystsova E.O.** Veterinary-sanitary inspection of cattle meat affected with benign tumor ..... 492

### **Agroeconomics**

- Nijimbere G., Suprunov A.I., Banyankimbona G.** Socio-economic impacts of the exploitation of the marshes of Kayanza province in the north of Burundi: case of marshes of the average Ruvubu and its tributaries ..... 511

### **Management and development of agro-industrial complex**

- Ivanov N.I., Shevchenko T.V., Gorbunov V.S.** Statistical analysis of current development of agriculture in Russian regions ..... 520





## Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-297-305

*Review article*

### The role of nanotechnology for improving crop production

Amir Lakzian<sup>1</sup>, Maryam Bayat<sup>2\*</sup>,  
Anvar Gadzhikurbanov<sup>2</sup>, Meisam Zargar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ferdowsi University, *Mashhad, Iran*

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),  
*Moscow, Russian Federation*

\*Corresponding author: [maryambayat1313@yahoo.com](mailto:maryambayat1313@yahoo.com)

**Abstract.** Today, green nanotechnology has great importance due to the presence of different modes of restrictive action against various pathogens such as fungi and bacterial species. The use of nanomaterials has recently increased in agriculture and plant-tissue culture thanks to their unique different properties such as; magnetic, electrical, mechanical, optical, and chemical properties. Optimum use of iron increases protein content in the wheat grain. They also enhance plant growth by improving disease resistance and increase stability of the plants by anti-bending and deeper rooting of crops. It has been reported by many researchers that Nano-fertilizers significantly influenced the seed germination which demonstrated the effect of Nano fertilizers on seed and seed vigor. Chemical methods have been used for the synthesis of nanoparticles. Developing Nano-biotechnology is generating interests in research towards eco-friendly, cost effective and biological synthesis of nanoparticles. Nanoparticles systems have been combined into plant fungal disease control practices. Using nanoparticles as biosensors in plant disease diagnostics is also illustrated.

**Key words:** nanoparticle, nano-fertilizer, nanotechnology

#### Article history:

Received: 17 October 2019. Accepted: 15 November 2019.

#### For citation:

Lakzian A, Bayat M, Gadzhikurbanov A, Zargar M. The role of nanotechnology for improving crop production. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4):297–305. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-297-305

© Lakzian A., Bayat M., Gadzhikurbanov A., Zargar M., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Introduction

Nowadays, environmental pollution caused by the use of chemicals and the unpredictable results of biological control have been widely investigated [1]. Nowadays, green nanotechnology has a great advantage due to the presence of different modes of inhibitory action against various pathogens such as fungal and bacterial species [2]. Nanotechnology is used in different stages of production such as processing, storage and plays an important role in the transportation of agricultural products.

This technology has great potential of transforming agriculture and food industry by applying new innovative methods such as precision farming methods, control release of agrochemicals and site target for delivery of different macromolecules needed for improving plant disease resistance, efficient nutrient utilization and increasing plant growth. Processes such as nano encapsulation illustrate the advantages of more efficient use and safer handling of pesticides with less negative impacts on the environment hence ensuring eco protection [3].

Agricultural systems are losing their fertility because of human activities and societal change in lifestyle. This invariably affects the production of crops and could lead to famine and hunger, thus concerted efforts are necessary to improve plants to enhance production. Nanotechnology system serves as the newest system for modern agriculture, whereby methods are formulated and channeled towards meeting with food demands of the enhancing world population [4].

Urban cropping that makes use of recent nanotechnologies has the potential to contribute for food security and nutrition. Despite there are related risks from chemical pollutions which may have released from soils, water [5], the ultimate goals for nanomaterials application in cropping spans decreasing hazard chemicals, nutrient losses, pest control and crop yield improvement [6]. The aim of this study was to investigate the use of nanotechnology in cropping systems and possibility of applying this technique for ameliorating desirable crop cultivation.

## Background of Nanotechnology in cropping systems

The quest to apply nanotechnology in farming systems arises from the fact that population is constantly increases, which necessitates the need for more foods. Population survey has estimated about 9.5 billion by the end of 2050 [5, 6]. Nanoscience is a fast-emerging field with an emphasis on broad range synthesis and application of different nanomaterials. This field can serve as a panacea for several difficult problems in multidisciplinary fields such as pharmaceutical sciences, supramolecular chemistry and electrical engineering [7, 8]. Nanomaterials have been awarded considerable attention due to their structure and properties differing from those of atoms and molecules with respect to their bulk materials, thus possessing various potential applications [9]. Nanoparticle synthesis is generally carried out by various chemical methods, such as laser ablation, pyrolysis, chemical or physical vapor deposition, sol gel and lithography electro-deposition. However most of these methods are expensive, and/or require the use of toxic solvents [10].

**Some Nano fertilizers used nowadays globally [15]**

Nanofertilizers	Constituents	Name of Manufacturer
Nano Ultra-Fertilizer (500) g	organic matter, 5.5%; Nitrogen, 10%; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 9%; K <sub>2</sub> O, 14%; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 8%; K <sub>2</sub> O, 14%; MgO, 3%	SMTET Eco-technologies Co., Ltd., Taiwan
Nano Calcium (Magic Green) (1) kg	CaCO <sub>3</sub> , 77.9%; MgCO <sub>3</sub> , 7.4%; SiO <sub>2</sub> , 7.47%; K, 0.2%; Na, 0.03%; P, 0.02%; Fe, 7.4 ppm; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 6.3 ppm; Sr, 804 ppm; sulfate, 278 ppm; Ba, 174 ppm; Mn, 172 ppm; Zn, 10 ppm	AC International Network Co., Ltd., Germany
Nano Capsule	N, 0.5%; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 0.7%; K <sub>2</sub> O, 3.9%; Ca, 2.0%; Mg, 0.2%; S, 0.8%; Fe, 2.0%; Mn, 0.004%; Cu, 0.007%; Zn, 0.004%	The Best International Network Co., Ltd., Thailand
Nano Micro Nutrient (EcoStar) (500) g	Zn, 6%; B, 2%; Cu, 1%; Fe, 6%+; EDTA Mo, 0.05%; Mn, 5%+; AMINOS, 5%	Shan Maw Myae Trading Co., Ltd., India
PPC Nano (120) mL	M protein, 19.6%; Na <sub>2</sub> O, 0.3%; K <sub>2</sub> O, 2.1%; (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 1.7%; diluent, 76%	WAI International Development Co., Ltd., Malaysia
Nano Max NPK Fertilizer	Multiple organic acids chelated with major nutrients, amino acids, organic carbon, organic micronutrients / trace elements, vitamins, and probiotic	JU Agri Sciences Pvt. Ltd., Janakpuri, New Delhi, India
TAG NANO (NPK, PhoS, Zinc, Cal, etc.) fertilizers	Proteino-lacto-gluconate chelated with micronutrients, vitamins, probiotics, seaweed extracts, and humic acid	Tropical Agrosystem India (P) Ltd., India

Recently, great activities have been made to use environmentally sustainable methods for the nanoparticles synthesis [11]. This is largely obtained by the using plant or fruit extracts and bioorganisms [12, 13]. Using fertilizers is an age long practice and has tremendously increased crop yields. However, they lead to soil mineral imbalance, destroy the soil structure, soil fertility and general ecosystem, which are serious impediments in the long term. To deal with the situation, it is pertinent to develop smart materials that can release nutrients to targeted areas and contribute to clean environment. Recent researches have indicated that graphene is a promising material that could serve as a carrier for plant nutrients. It is capable of slow and controlled reveal of nutrient for the plants benefit, and eventually enhances the amount of production with low environmental impact [14, 5]. Some Nano fertilizers used in the world are shown in table 1.

### Green synthesis of nanoparticles

Nanomaterials have nanoscale dimension, and nanoparticles are very small size particles with increased catalytic reactivity, thermal conductivity, non-linear optical performance and chemical steadiness owing to its large surface area to volume ratio. These compounds are the ones possibly responsible for the anti-pathological responses of plants [16]. Increase in new resistant strains of insects, bacteria and fungi against most potent antibiotics prompted researchers to conduct experiments on the activity of well-known compounds, including Nanoparticles and the resistance phenomenon was more pronounced against insect pests than other organisms.

Biosynthesis of nanoparticles is a strategy of synthesizing nanoparticles applying microorganisms having biomedical applications. Mentioned method is an environmental friendly and cost effective, biocompatible and safe approach. Green synthesis involves synthesis through plants, bacteria, fungi, algae etc. They allow large scale production

of ZnO NPs free of additional impurities. NPs synthesized from biomimetic approach show more catalytic activity and limit the use of expensive and toxic chemicals [17—19].

Physical synthesis encompasses the sedimentation process, rotor speed ball mill, high energy ball mill and pot mill. For instance, phosphorus (P) nanoparticles are provided by purifying rock phosphate and grinding with high energy mill. Chemical approaches include precipitation and poly vinyl pyrimidine (PVP) techniques. The use of microorganisms as potential bio-factories for synthesis of metallic Nanoparticles such as cadmium sulphide, gold, and silver has been explored [20, 21].

### Synthesis methods

Two strategies have been advised for synthesis of nanomaterials: 1) bottom up and 2) top down methods. The top-down strategy includes milling or attrition of large macroscopic particle. That includes synthesizing large scale patterns initially and then diminishing it to nanoscale level through plastic deformation. This strategy cannot be used for large scale production of nanoparticles, because of its high cost and slow process. This approach includes the nanoparticles synthesis from miniaturized atomic components through self-assembly [22]. That involves formation through physical and chemical means. Meanwhile, that is a cheap cost technique comparatively.

### Nanoparticles and plant protection

Anthraxnose disease, which is caused by *Colletotrichum* is a serious disease that appears on host plant and other cereal crops. For controlling various phytopathogenic fungi, including *Colletotrichum* species, agrochemical products have been advanced and applied for a long period of time. Widespread using fungicides has certainly diminished the outbreak of diseases, but simultaneously contributed to the development of resistant pathogen strains and biotypes [21, 22]. Anthracnose disease, which is caused by the fungal pathogen *Colletotrichum* is a devastating disease that occurs on many commercially important plants like bean, strawberry, perilla and other crop plants [23]. In order to control various phytopathogenic fungi, including *Colletotrichum* species, agrochemicals have been used for a long time. Widespread use of agrochemicals has certainly decreased the outbreak of fungal diseases, but at the same time has contributed to the development of resistant pathogens. Moreover, such chemicals can be lethal to beneficial organisms.

Nanomaterials have been observed as novel antimicrobial agents owing to their high surface area to volume ratio and the unique chemical and physical characteristics, that increase their contact with microbes and ability to permeate cells [24]. Nano science has shown the impact of silver particles as antimicrobial agents. Shrinking the particle size of materials is very effective point to ameliorate their biological compatibility.

The existence of fungal phytopathogens during the development of host plant is essential as mentioned organisms can induce wilt or root rot disease causing substantial losses to crop producers. Currently, pathogenic fungi such as *Fusarium solani* and *Macrophomina phaseolina* have been recognized in some crops in various countries such as Spain and Iran as the causal agent of crown rot, root rot and charcoal rot,

respectively [25]. Pastrana et al. [4] reported that these pathogens caused root rot, damping-off symptoms, and shrinking in leaf size and fruits, thus affecting the yield and quality. Several researches reported the use of various control measures such as the application of chemical and biological tools for curbing these diseases in crops. Currently environmental hazards caused by the using fungicides and the unpredictable results of biological control have been comprehensively discussed [26].

### **Nanotechnology and abiotic stresses**

Improvement in the plant resistance against different abiotic stresses such as drought, salinity, diseases and others have been possible through development in the biotechnology science at the nanomaterials or nanoscale. In the future, more useful identification and use of plant gene trait resources is expected to introduce cost effective capability through advances in nanotechnology based on gene sequencing [27]. Latterly, in vitro culture has become widely used in some research areas related to plant science, owing to its ability to provide quick feedback, virus-free and controlled environment [28]. The use of nanomaterials has recently increased in agriculture and plant-tissue culture thanks to their unique different properties such as: magnetic, electrical, mechanical, optical, and chemical properties. Mozafari et al. [29] reported that under in vitro conditions, the use of iron nanoparticle could effectively alleviate the negative effects of drought stress on strawberry, further they verified that the concentration of iron nanoparticle could be an important issue worthy of consideration while adjusting the micronutrient content of media for this plant.

### **Nano-fertilizers in cropping systems**

Nano-fertilizers might have new properties which are more effective in farming systems, controlled release of chemical fertilizers and release nutrients that regulate plant growth and increase target activity. Nano-fertilizers can increase crop yields by supplying one or more nutrients whereas nanomaterial-increased fertilizers ameliorate the performance of fertilizers. Nano-fertilizers compared with the conventional fertilizers, are expected to improve growth and yields of crops significantly [30].

Recently several researchers stated that Nanofertilizers affected the seed germination which showed the effect of Nanofertilizers on seed. They can easily penetrate into the seed and increase nutrient availability to the growing seedling which results in healthy growth. If concentration is more than the optimum it may indicate inhibitory effects on the germination and seedling growth of the plant. Nano particles have both positive and negative effects on the plant [31].

ZnO Nano-particles recorded higher peanut seed germination percentage and root growth in comparison with bulk zinc sulphate. In the same way, positive effects of Nano-scale SiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub> on germination were reported in soya bean. Appropriate seed germination and root length were observed when using nanofertilizers compared to control where seeds were not treated with Nano-fertilizer. Nano-fertilizers increase nutrient availability to the growing plant which increases chlorophyll formation, photosynthetic rate, and dry matter production resulting in improvement of overall plant

growth. Mozafari et al. [32] reported corresponding results that nano-TiO<sub>2</sub> treated seeds produced plants with more dry weight, higher photosynthetic rate, and chlorophyll- $\alpha$  formation compared to the control. Combining Nanofertilizers and nanodevices synchronizing the release of fertilizers N and P with their uptake by cereal crop, prevents undesirable nutrient losses to soil through direct internalization by crops [33].

### Conclusion

Nano Science has appropriate advantages as it can enhance the life quality through its usage in various aspects as in cropping systems and producing foods. Across the globe it has become a ticket into the future for most nations. Nevertheless, we must be very careful with any new technology to be introduced about its possible unforeseen related risks that may come along with its positive potential. It is critical for any nation to provide a trained future workforce well versed in nanotechnology. Nanoparticle production has obtained well attention from various researchers those wish to utilize them for developing new generation nano-agro fertilizers and pesticides. Nanotechnology development is generating interests in science towards ecofriendly, cost effective and biological synthesis of nanoparticles.

### References

1. Zhang C, Wenhui L, Zhu B, Chen H, Chi H, Li L, Qin Y, Xue J. The quality evaluation of post-harvest strawberries stored in nano-Ag packages at refrigeration temperature. *Polymers*. 2018; 10(8):894. doi: 10.3390/polym10080894
2. Liu L, Ji ML, Chen M, Sun M, Fu XL, Li L, Gao DS, Zhu CY. The flavor and nutritional characteristic of four strawberry varieties cultured in soilless system. *Food SciNutr*. 2016; 4(6):858—868. doi: 10.1002/fsn3.346
3. Ruiz-Romeroa P, Salasb BV, Mendoza D, Trujillo VM. Antifungal effects of silver phytonanoparticles from *Yucca shilerifera* against strawberry soil-borne pathogens: *Fusarium solani* and *Macrophomina phaseolina*. *Mycobiology*. 2018; 46(1):47—51. doi: 10.1080/12298093.2018.1454011
4. Pastrana AM, Capote N, De los Santos B, Romero R, Basallote-Ureba MJ. First report of *Fusarium solani* causing crown and root rot on strawberry crops in southwestern Spain. *Plant Dis*. 2014; 98(1):161. doi: 10.1094/PDIS-07-13-0682-PDN
5. Sharifi K, Mahdavi M. First report of strawberry crown and root rot caused by *Macrophomina phaseolina* in Iran. *Iran J Plant Pathol*. 2011; 47(4):Pe479—Pe480.
6. Adesina MF, Lembke A, Costa R, Speksnijder A, Smalla, K. Screening of bacterial isolates from various European soils for in vitro antagonistic activity towards *Rhizoctonia solani* and *Fusarium oxysporum*: site dependent composition and diversity revealed. *Soil Biol Biochem*. 2007; 39(11):2818—2828. doi: 10.1016/j.soilbio.2007.06.004
7. Lamsal K, Kim SW, Jung JH, Kim YS, Kim KS, Lee YS. Application of silver nanoparticles for the control of *Colletotrichum* species in vitro and pepper anthracnose disease in field. *Mycobiology*. 2011; 39(3):194—199. doi: 10.5941/MYCO.2011.39.3.194
8. Huang J, Li Q, Sun D, Lu Y, Su Y, Yang X, Wang H, Shao W, He N, Hong J, Chen C. Biosynthesis of silver and gold nanoparticles by novel sundried *Cinnamomum camphora* leaf. *Nanotechnology*. 2007; 18(10):105104.
9. Kouvaris P, Delimitis A, Zaspalis V, Papadopoulos D, Tsipas SA, Michailidis N. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles produced using *Arbutus Unedo* leaf extract. *Materials Letters*. 2012; 76:18—20. doi: 10.1016/j.matlet.2012.02.025

10. Park HH, Choi YJ. Direct patterning of SnO(2) composite films prepared with various contents of Pt nanoparticles by photochemical metal-organic deposition. *Thin Solid Films*. 2011; 519(19): 6214—6218. doi: 10.1016/j.tsf.2011.03.051
11. Hubenthal F. Noble metal nanoparticles: synthesis and optical properties. In: Andrews DL, Scholes GD, Wiederrecht GP (eds.) *Comprehensive Nanoscience and Technology. Vol. 1: Nanomaterials*. New York: Elsevier Science; 2011; p. 375—435.
12. Ghodake GS, Deshpande NG, Lee YP, Jin ES. Pear fruit extract-assisted room temperature biosynthesis of gold nanoplates. *Colloids and Surface B: Biointerfaces*. 2010; 75(2):584—589. doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.09.040
13. Sanghi R, Verma P. Biomimetic synthesis and characterization of protein capped silver nanoparticles. *Bioresour Technol*. 2009; 100(1):501—504. doi: 10.1016/j.biortech.2008.05.048
14. Shankar SS, Rai A, Ahmad A, Sastry M. Rapid synthesis of Au, Ag and bimetallic Au core-Ag shell nanoparticles using neem (*Azadirachta indica*) leaf broth. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004; 275(2):496—502. doi: 10.1016/j.jcis.2004.03.003
15. Prasad R, Bhattacharyya A, Nguyen QD. Nanotechnology in sustainable agriculture: Recent developments, challenges, and perspectives. *Front Microbiol*. 2017; 8:1014. doi: 10.3389/fmicb.2017.01014
16. Vijayaraghava K, Nalini K. Biotemplates in the green synthesis of silver nanoparticles. *Bio-technology journal*. 2010; 5(10):1098—1110. doi: 10.1002/biot.201000167
17. Huang L, Dian-Qing L, Yan-Jun W, Min DG, Xue ED. Controllable preparation of nano-MgO and investigation of its bactericidal properties. *J Inorg Biochem*. 2011; 99(5):986—993. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2004.12.022
18. Solanki JN, Murthy ZVP. Highly monodisperse and sub-nano silver particles synthesis via micro emulsion technique. *Colloids Surface*. 2010; 359(1—3):31—38. doi: 10.1016/j.colsurfa.2010.01.058
19. Sastry RK, Rashmi HB, Rao NH. Nanotechnology Patents as R&D Indicators for Disease Management Strategies in Agriculture. *J Intellect Prop Rights*. 2010; 15(3):197—205.
20. Delfani M, Firouzabadi MB, Farrokhi N, Makarian H. Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium nanofertilizers. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 2014; 45(4):530—540. doi: 10.1080/00103624.2013.863911
21. Narro-Sanchez J, Davalos-Gonzalez PA, Velasquez-Valle R, Castro-Franco J. Main strawberry diseases in Irapuato, Guanajuato, and Zamora, Michoacan, Mexico. *Acta Horti*. 2006; 708:167—172. doi: 10.17660/ActaHort.2006.708.27
22. Vitor G, Palma TC, Vieira B, Lourenço JP, Barros RJ, Costa MC. Start-up, adjustment and long-term performance of a two-stage bioremediation process, treating real acid mine drainage, coupled with biosynthesis of ZnS nanoparticles and ZnS/TiO<sub>2</sub> nanocomposites. *Miner Eng*. 2015; 75:85—93. doi: 10.1016/j.mineng.2014.12.003
23. Raposo R, Gomez V, Urrutia T, Melgarejo P. Fitness of *Botrytis cinerea* associated with dicarboximide resistance. *Phytopathology*. 2000; 90(11):1246—1249. doi: 10.1094/PHYTO.2000.90.11.1246
24. Bartlett DW, Clough JM, Godwin JR, Hall AA, Hamer M, Parr-Dobrzanski B. The strobilurin fungicides. *Pest Manag Sci*. 2002; 58(7):649—622. doi: 10.1002/ps.520
25. Kim JS, Kuk E, Yu KN, Kim JH, Park SJ, Lee HJ, Kim SH, Park YK, Park YH, Hwang CY. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine*. 2007; 3(1):95—101. doi: 10.1016/j.nano.2006.12.001
26. Rejinold NS, Muthunayanan M, Muthuchelian K, Chennazhi KP, Nair SV, Jayakumar R. Saponin-loaded chitosan nanoparticles and their cytotoxicity to cancer cell lines in vitro. *Carbohydr Polym*. 2011; 84(1):407—416. doi: 10.1016/j.carbpol.2010.11.056
27. Piacente S, Pizza C, Oleszek W. Saponins and phenolics of *Yucca schidigera* Roetzl: chemistry and bioactivity. *Phytochem Rev*. 2011; 4(2—3):177—190. doi: 10.1007/s11101-005-1234-5

28. Quiroz KA, Berríos M, Carrasco B, Retamales JB, Caligari PD, García-González R. Meristem culture and subsequent micropropagation of Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis* (L.) Duch.). *Biol Res.* 2017; 50(1):20—35. doi: 10.1186/s40659-017-0125-8
29. Mozafari A, Havas F, Ghaderi N. Application of iron nanoparticles and salicylic acid in in vitro culture of strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch.) to cope with drought stress. *Plant Cell Tissue Org Cult.* 2017; 132(3):511—523. doi: 10.1007/s11240-017-1347-8
30. Villamizar-Gallardo R, Cruz OJF, Ortiz-Rodriguez OR. Fungicidal effect of silver nanoparticles on toxigenic fungi in cocoa. *Pesq Agropec Bras.* 2016; 51(12):1929—1936. doi: 10.1590/S0100-204X2016001200003
31. Yaghubi K, Ghaderi N, Vafae Y, Javadi T. Potassium silicate alleviates deleterious effects of salinity on two strawberry cultivars grown under soilless pot culture. *Sci Hortic.* 2016; 213:87—95. doi: 10.1016/j.scienta.2016.10.012
32. Mahdizadeh V, Safaie N, Khelghatibana F. Evaluation of antifungal activity of silver nanoparticles against some phytopathogenic fungi and *Trichoderma harzianum*. *J Crop Prot.* 2015; 4(3):291—300.
33. Mickelbart MV, Hasegawa PM, Bailey-Serres J. Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. *Nat Rev Genet.* 2015; 16:237—251. doi: 10.1038/nrg3901

#### About authors:

*Lakzian Amir* — Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Azadi sq., Mashhad, Iran

*Bayat Maryam* — Agrobiotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russian Federation; e-mail: maryambayat1313@yahoo.com

*Gadzhikurbanov Anvar* — Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russian Federation; e-mail: gadcgikurbanow@mail.ru

*Zargar Meisam* — Associate Professor, Postdoctoral Research Associate, Agrobiotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russian Federation; e-mail: zargar-m@rudn.ru

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-297-305

Обзорная статья

## Роль нанотехнологий в совершенствовании растениеводства

Амир Лакзиан<sup>1</sup>, Марьям Баят<sup>2\*</sup>,  
Анвар Гаджикурбанов<sup>2</sup>, Мейсам Заргар<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет Фердоуси, Мешхед, Иран

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов,  
Москва, Российская Федерация

\*maryambayat1313@yahoo.com

**Аннотация.** Использование наноматериалов в последнее время возросло в сельском хозяйстве и культуре тканей растений благодаря их уникальным свойствам: магнитным, электрическим, механическим, оптическим и химическим. Приведен обзор исследований, посвященных применению



нанотехнологий в растениеводстве, подтверждающих в частности, что наноматериалы усиливают рост растений, повышают сопротивляемость болезням и устойчивость растений, предотвращая изгиб и обеспечивая более глубокое укоренение сельскохозяйственных культур, а оптимальное использование железа, например, увеличивает содержание белка в зерне пшеницы. Многие исследователи сообщают, что нанодобрения значительно повлияли на всхожесть семян, что продемонстрировало влияние нанодобрений на семена и их энергию. Отмечено, что для синтеза наночастиц используются химические методы, а развитие нанобиотехнологии вызывает интерес к исследованиям, направленным на экологически чистый, экономически эффективный биологический синтез наночастиц. Сегодня зеленые нанотехнологии обеспечивают различные способы воздействия на патогенные микроорганизмы: грибы и многие виды бактерий. Показано применение систем наночастиц в практике борьбы с грибковыми заболеваниями растений, использование их в качестве биосенсоров в диагностике заболеваний растений.

**Ключевые слова:** наночастица, нанодобрение, нанотехнология

### **История статьи:**

Поступила в редакцию: 17 октября 2019 г. Принята к публикации: 15 ноября 2019 г.

### **Для цитирования:**

*Lakzian A., Bayat M., Gadzhikurbanov A., Zargar M.* The role of nanotechnology for improving crop production // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 297—305. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-297-305

### **Об авторах:**

*Лакзиан Амир* — профессор, кафедра почвоведения, сельскохозяйственный факультет, Университет Фердоуси, Иран, Мешхед, площадь Азади

*Баят Марьям* — агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8; e-mail: maryambayat1313@yahoo.com

*Гаджикурбанов Анвар* — агроинженерный департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8; gadcgikurbanow@mail.ru

*Заргар Мейсам* — доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8; zargar-m@rudn.ru

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-306-318

Research article

## Effects of Gibberellic acid, micronutrient fertilizer and Calcium nitrate foliar fertilizer on growth and yield of tomato *Solanum lycopersicum* L. cultivated in Vietnam

Van T. Le<sup>1</sup>, Bao T. Bui<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Natural Sciences, Hong Duc University, Thanh Hoa, Vietnam

<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

\*Corresponding author: [bbt.9895@gmail.com](mailto:bbt.9895@gmail.com)

**Abstract.** In this study, we present the experimental results which evaluate the influence of Gibberellic acid GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Calcium nitrate Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer on the growth and yield of tomato cultivar NHP11 cultivated in a net house located in Thanh Hoa province, Vietnam. The experiment including 8 formulas was laid out in a randomized complete block design (RCBD) with three replications. In treatments with the application of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer, plants were observed to grow better than the control (via some indicators such as plant height, leaf area index, number of flowers per plant, effective flower rate, number of fruits per plant, average fruit weight per plant). The yields differed due to different formulas on tomato. Results indicated that the highest yield was recorded at 50.73 tons ha<sup>-1</sup> when the combination of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer was applied in F8, followed by the record of 47.31 tons ha<sup>-1</sup> in F6 (in presence of GA<sub>3</sub> and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer), 46.55 tons ha<sup>-1</sup> in F5 (in presence of GA<sub>3</sub> and micronutrient fertilizer), 45.79 tons ha<sup>-1</sup> in F7 (in presence of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer and micronutrient fertilizer). The yields of tomato in F2, F3, F4 when treated with supplemented separately GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer respectively were higher than those of the control (39.90 tons ha<sup>-1</sup>) but lower than the yield in mixed formulas. Results show that the treatment combination of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer can promote the growth and yield of tomato.

**Key words:** tomato, *Solanum lycopersicum*, GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer, growth, yield

### Acknowledgments:

Hong Duc University, Vietnam is appreciated for supporting this research.

### Author contributions:

LVT conceived and planned the research, set-up the experiments, collected and analyzed the data, and wrote the initial draft of the manuscript. BBT planned and set up the experiments, analyzed the data, wrote and edited the manuscript.

© Le V.T., Bui B.T., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Conflicts of interest:**

The authors declare no conflicts of interest.

**Article history:**

Received: 18 August 2019. Accepted: 11 October 2019

**For citation:**

Le VT, Bui BT. Effects of Gibberellic acid, micronutrient fertilizer and Calcium nitrate foliar fertilizer on growth and yield of tomato *Solanum lycopersicum* L. cultivated in Vietnam. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4):306—318. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-306-318

## Introduction

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.), among current cultivated vegetables in the world, is one of the most important crops with the highest yield and largest cultivation area [1]. Tomato fruits contain a huge amount of nutrients including glucid, many organic acids and major antioxidants such as Lycopene, Phenolic, and Vitamin C [2—4]. It also has a high medicinal value thanks to its sweet taste and cooling nature. Phytochemicals in tomatoes can act as antimicrobials and antitoxin agents, reduce the risk of cardiovascular diseases, contributing to the prevention of the formation of free radicals which might lead to cancers, especially prostate cancer [5—7]. In addition, tomato is easily cultivated under various climatic conditions, offering great financial support for many farmer households. As a result, tomato has been widely cultivated in many countries including Vietnam.

Results of studies in the world have shown that Gibberellic acid  $GA_3$ , micronutrient fertilizer and Calcium nitrate  $Ca(NO_3)_2$  foliar fertilizer play essential roles in vegetative growth.  $GA_3$  is a plant hormone that can regulate the growth of plants, stem elongation, germination, dormancy, flowering, genetic development, and enzyme activation [8]. Micronutrient fertilizer includes a variety of metallic and non-metallic elements. For crops, micronutrient fertilizer is essential because of their role in beneficial enzymes for plant growth. The deficiency of any micro-element in soil might significantly reduce the vegetative yield and quality [9].  $Ca(NO_3)_2$  foliar fertilizer facilitates the process of nutrients and soluble calcium absorption makes the stem bigger and stronger, increases plant resistance to diseases and pests, improves the root length and root branching evolution, thus helping plants absorb more nutrients [10].

Population explosion is a threat to global agriculture. There have been increasing demands for edible products in terms of quantity and quality [11]. When it comes to agricultural research, increasing crop yield is an essential priority [12]. Effects of  $GA_3$ , micronutrient fertilizer and  $Ca(NO_3)_2$  foliar fertilizer on vegetative growth and yield have become common research topics [10, 13, 14]. However, the comprehensive reports on the influences of  $GA_3$ , micronutrients fertilizer and  $Ca(NO_3)_2$  foliar fertilizer on the growth and yield of tomato cultivated in Vietnam is quite limited. The purpose of this study was to assess the effects of  $GA_3$ , micronutrient fertilizer and  $Ca(NO_3)_2$  foliar fertilizer on the growth and yield of tomato cultivated in net houses in Vietnam.

## Materials and methods

**Research materials.** Tomato cultivar NHP11, which is widely cultivated in Vietnam, was provided by Nong Hung Phu Co., Ltd. Organic substrate QD02 consists of alluvium, peat, mushroom residues, burnt rice husk and lime powder. Micronutrient fertilizer B6 includes 2% K<sub>2</sub>O, 800 ppm Cu, 50 ppm Mo, 900 ppm Zn, 1000 ppm Bo, 1200 ppm Mg. Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer comprises Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 26.5% CaO, 15.5% N. Gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) and NPK fertilizer with the ratio of 4 kg N : 4 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 3 kg K<sub>2</sub>O were also used.

**Experimental arrangement.** The experiment was conducted from November 2018 to March 2019 in a net house located in Quang Xuong district, Thanh Hoa province, Vietnam. The experiment including 8 formulas (table 1) was laid out in a randomized complete block design (RCBD) with three replications.

Table 1

Components of formulas

Formula	Components
F1	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate (control)
F2	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate + GA <sub>3</sub>
F3	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate + Micronutrient fertilizer
F4	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate + Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> foliar fertilizer
F5	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate + GA <sub>3</sub> + Micronutrient fertilizer
F6	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate + GA <sub>3</sub> + Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> foliar fertilizer
F7	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate + Micronutrient fertilizer + Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> foliar fertilizer
F8	Soil + NPK fertilizer + Organic substrate + GA <sub>3</sub> + Micronutrient fertilizer + Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> foliar fertilizer

**Experimental technical process.** Pots sized 35×40 cm with bottom holes were used. 10 kg of soil were initially put inside, then 4 kg of organic substrate were added into each pot. Each seedling at the height of 20 cm was transplanted into one pot. Seedlings were planted deep with 50% of their stem underground because the root development would soon improve, making the tomato plants much stronger and more resistant. The amount of 0.5 kg of NPK was applied in different growth stages: fertilization before planting seedlings; first supplementary fertilization after the seedlings had new roots for 4—5 days; second supplementary fertilization at the profusely flowering stage; third supplementary fertilization when fruits had been fully mature (15 days after the second supplementary fertilization); fourth supplementary fertilization after first harvesting.

In experimental treatments, for the treatment combination of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer, doses and rates were ensured. GA<sub>3</sub> at a dose of 30 ppm and the rate of 30 mL/m<sup>2</sup> was sprayed into leaves and stems at beginning of the flowering stage and after the first harvesting. Micronutrient fertilizer at a concentration of 0.03% was applied around the stems which were covered by leaves after the seedlings had new roots, before the flowering stage and after the first harvesting. Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer at a concentration of 0.03% was sprayed into leaves after the seedlings had new roots, before the flowering stage and after the first harvesting.

**Data collection.** Data on growth, development and yield variables of tomato plants such as: plant height (from the ground to shoot tip, measured with a measuring tape

with a precision of 1 mm), number of flower clusters per stem; number of flowers per cluster, effective flower rate (calculated by dividing the number of flowers that produce the fruit by the total number of initial flowers), leaf area measured by CI-202 Leaf Area Meter originated from the USA; Leaf area index (LAI); number of fruits per plant; average fruit weight per plant; actual yield (measured by using the total fruit weight per plant until the end of harvesting).

Those data were collected at 4 different stages: beginning of rooting stage (when above 50% of the seedlings in the treatment had new roots): 8 days after transplanting; beginning of flowering stage (when the initiation of flowers had been recorded in more than 50% of the plants in the treatment): 20 days after transplanting; beginning of harvesting stage (when 50% of the plants in the treatment had reached the harvesting): 70 days after transplanting; after harvesting: 125 days after transplanting.

**Statistical analysis.** All experiments were conducted three times independently. The results are expressed as mean values and standard deviation (SD). The results were subjected to an analysis of variance (ANOVA). Data were compared according to Tukey's test using IRRISTAT software (version 5.0) for Windows computers.

## Results and discussion

**Plant height.** Plant height, which is one of the major parameters in plant growth, is strongly connected to the resistance and plant yield [15]. Plant height was recorded at 4 different stages. Among formulas, the difference in the fertilizer combinations led to the difference in plant height variables. Obtained data on plant height are illustrated in Table 2.

Table 2

Effects of  $GA_3$ , micronutrient fertilizer and  $Ca(NO_3)_2$  foliar fertilizer on tomato plant height

Formula	Plant height (cm)			
	Beginning of rooting stage	Beginning of flowering stage	Beginning of harvesting stage	After harvesting
F1	17.50b ± 0.095	41.54d ± 0.076	75.15d ± 0.165	77.32c ± 0.352
F2	17.62b ± 0.027	49.75b ± 0.135	84.67b ± 0.157	86.28b ± 0.265
F3	16.58c ± 0.136	41.67d ± 0.149	77.61cd ± 0.248	78.42c ± 0.146
F4	18.23a ± 0.062	42.58d ± 0.082	76.59cd ± 0.087	78.53c ± 0.312
F5	16.42c ± 0.084	51.03a ± 0.046	88.41a ± 0.160	89.76a ± 0.295
F6	17.08bc ± 0.125	50.16b ± 0.154	86.54ab ± 0.053	89.51a ± 0.119
F7	18.15a ± 0.018	44.02c ± 0.096	78.62c ± 0.169	79.05c ± 0.207
F8	16.31c ± 0.054	51.28a ± 0.068	90.04a ± 0.237	92.18a ± 0.128

Note: Numbers represent mean values of three independent replicates ± SD. In the same data column, values with similar letters represent non-significant differences, values with different letters represent differences in significance ( $P \leq 0.05$ ).

At beginning of the rooting stage, when supplementary  $GA_3$  and fertilizers had not been applied, no significant difference in plant height parameters could be found (Table 2). The highest plant height was observed in F4 (18.23 cm) and the lowest was found in F8 (16.31 cm). The average plant height among 8 treatments was 17.24 cm. From the beginning of flowering to the end of harvesting, plant height variables found

in 8 treatments were significantly different. At beginning of the flowering stage, the average plant height among 8 treatments was 46.50 cm, in which the maximum was observed in F8 (51.28 cm), followed by F5 (51.03 cm), F6 (50.16 cm), and F2 (49.75 cm). In these formulas, supplementary GA<sub>3</sub> was applied, and it was one of the major factors that contributed to the development of plant height [16]. Additionally, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer were also applied in F8, leading to the highest plant height value found in this formula. The minimum plant height was found in F1 (the control) at only 41.54 cm. At beginning of the harvesting stage, plants grew quickly, reaching the average plant height of 80.20 cm; the highest plant height was again found in F8 (90.04 cm), followed by F5 (88.41 cm) and the lowest was again found in F1 (75.15 cm). After the harvesting stage, the plant height values continued to increase, but slightly. The maximum plant height was observed in F8 (92.18 cm) and the minimum was observed in F1 (77.32 cm).

Experimental results among 8 treatments show that GA<sub>3</sub> application has a significant impact on tomato plant height [16]. Besides, supplementary Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> and micronutrient fertilization can improve the height of tomato plants. In treatments applying isolated micronutrient fertilizer or Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer or their mixture in absence of GA<sub>3</sub>, tomato plants could grow higher than the control group [17], but lower than the plants supplementarily treated with GA<sub>3</sub> in other treatment combinations. It is concluded that GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer have great effects on the plant height of tomato; however, the rates of effect might vary.

**Number of flowers and effective flower rate.** The production of flowers is the main element contributing to the success of fruit setting [18]. The number of flowers is considered to be the first yield characters of plants [19]. After pollination and fertilization, flowers set and develop into fruits. Fertilizer application promotes the profuse flowering, the number of flowers as well as the effective flower rate [20, 21]. In this experiment, the effects of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer on the number of flowers and effective flower rate of tomato were analyzed.

Table 3

**Effects of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer on the number of flowers and effective flower rate of tomato**

Formula	Number of flowers per cluster	Number of flowers clusters per stem	Total number of flowers per plant	Effective flower rate (%)
F1	6.12c ± 0.034	5.25d ± 0.063	40.78d ± 0.067	57.06c ± 0.109
F2	7.05b ± 0.046	6.64b ± 0.025	43.88b ± 0.084	61.38b ± 0.086
F3	6.89b ± 0.053	5.49d ± 0.009	42.10c ± 0.049	58.74bc ± 0.157
F4	6.93b ± 0.015	6.37bc ± 0.014	42.15c ± 0.134	60.26b ± 0.050
F5	6.42c ± 0.023	6.71b ± 0.057	44.06a ± 0.019	65.37a ± 0.036
F6	6.92b ± 0.071	6.23bc ± 0.020	43.09b ± 0.107	64.82a ± 0.129
F7	7.07b ± 0.042	6.05c ± 0.016	42.76b ± 0.074	65.16a ± 0.095
F8	8.01a ± 0.058	7.35a ± 0.012	44.19a ± 0.038	66.81a ± 0.048

Note: Numbers represent mean values of three independent replicates ± SD. In the same data column, values with similar letters represent non-significant differences, values with different letters represent differences in significance (P ≤ 0.05).

As shown in Table 3, the maximum number of flower clusters per stem (7.35), the maximum number of flowers per cluster (8.01), thus the maximum total number of flowers per plant (44.19) and the maximum effective flower rate (66.81%) were all found in F8 (in presence of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer). It could be observed from F5 (in presence of GA<sub>3</sub> and micronutrient fertilizer) that the total number of flowers per plant was 44.06 while the number of flowers per cluster was 6.42 and the number of flower clusters was 6.37 per stem. The differences between results gained from F5 and F8 and those gained from other treatments had statistical significance. In F6 (in presence of GA<sub>3</sub> and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer), the number of flowers per cluster was 6.92, the number of flower clusters per stem was 6.23 and the total number of flowers was 43.09 per plant; in F7 (in presence of micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer), the number of flowers per cluster reached 7.07 while the number of flower clusters was only 6.05 per stem, leading to the moderate number of flowers which was only 42.76 per plant. Besides, higher number of flowers per cluster was found in F2 with the total flower number of 43.88 per plant; however, the effective flower rate was recorded at 61.38% only, lower than that gained in F5, F6, F7 and F8. The minimum numbers of flowers per plant and flower clusters per stem were observed in F1 (the control), thus the total number of flowers per plant and effective flower rate were 40.78 and 57.06% respectively. In other formulas (F3 and F4), the total number of flowers and effective flower rate, although higher than those of the control, just reached the average values. Results show that the application of GA<sub>3</sub> spray on tomato could increase the number of flowers and effective flower rate, especially in treatment combination in the presence of micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer. In formulas with isolated Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer or micronutrient fertilizer, there was also a growth in the number of flowers and effective flower rate, but they were recorded at average values only. It can be referred that GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer all have impacts on the number of flowers and effective flower rate, thus affecting the yield of tomato.

**Leaf area index (LAI).** There is a close connection between the leaf area index (LAI) and plant photosynthesis. Cultivars with higher leaf area index often gain higher yield production, although the structures of plant populations have a great influence on this index value [22]. If the leaf area index is recorded high, but the population is unreasonably structured, the leaves will shade each other, leading to a decrease in photosynthesis while the demand for respiration increases. As a result, photosynthetic biomass will drop [23]. Experimental results on LAI are presented in Table 4.

Among mentioned formulas, the LAI values for tomato were recorded to increase from the beginning of rooting to the end of harvesting (Table 4). At the beginning of rooting, in absence of supplementary Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer, micronutrient fertilizer and GA<sub>3</sub>, LAI values slightly varied among the formulas. The maximum LAI was obtained in F2 at 0.31 ( $m^2/m^2$ ) while the minimum was found in F5 at 0.26 ( $m^2/m^2$ ). From the beginning of flowering to the harvesting, under the influence of plant growth regulator GA<sub>3</sub> and fertilizers, LAI values among the formulas changed sharply with statistical significance. The highest LAI values were recorded in F8 during the experimental period from the beginning of flowering to the end of harvesting. At the beginning of flowering, LAI found in F8 was 1.41 ( $m^2/m^2$ ), followed by that in F5 (1.35  $m^2/m^2$ ),

Table 4

**Effects of GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer on tomato leaf area index (LAI)**

Formula	Leaf area index (leaf area / ground area, m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )			
	Beginning of rooting stage	Beginning of flowering stage	Beginning of harvesting stage	After harvesting
F1	0.28bc ± 0.002	1.08c ± 0.007	2.87c ± 0.017	3.29c ± 0.018
F2	0.31a ± 0.005	1.24b ± 0.005	3.05b ± 0.009	3.65a ± 0.007
F3	0.27cd ± 0.001	1.13c ± 0.003	3.17a ± 0.015	3.58ab ± 0.005
F4	0.29ab ± 0.003	1.28b ± 0.001	2.89c ± 0.007	3.34bc ± 0.013
F5	0.26d ± 0.002	1.35a ± 0.001	3.08ab ± 0.012	3.72a ± 0.008
F6	0.29ab ± 0.001	1.26b ± 0.005	3.12a ± 0.005	3.52ab ± 0.007
F7	0.30a ± 0.005	1.14c ± 0.002	2.97bc ± 0.005	3.37b ± 0.021
F8	0.27cd ± 0.003	1.41a ± 0.005	3.19a ± 0.015	3.68a ± 0.010

Note: Numbers represent mean values of three independent replicates ± SD. In the same data column, values with similar letters represent non-significant differences, values with different letters represent differences in significance (P ≤ 0.05).

F4 (1.28 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) and the lowest was found in F1 (1.08 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>). LAI values increased more significantly at the beginning of harvesting. At this stage, the maximum LAI was observed in F8 at 3.19 (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>), followed by F3 (3.17 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) and the minimum was obtained in F1 (2.87 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>). After the harvesting, the highest LAI value was recorded at 3.71 (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) in F5, followed by F8 (3.68 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>). These results were in agreement with those of Hossain et al. (2017) on tomato LAI [22].

Experimental results show that in treatments with the application of micronutrient fertilizer such as F3, F5, F8, LAI values were recorded higher than in other treatments although the lowest value was always found in the control. It proves that the application of isolated GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer or their mixture can all increase the LAI value. Therefore, it can be stated that GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer all have effects on the yield of tomato.

**Yield components and yield.** Yield and yield components are important criteria to assess the effects of elements on the plant [24]. The studied results were shown in Table 5.

Table 5

**Yield and yield components of tomato**

Formula	Number of fruits per plant	Average fruit weight (g)	Actual yield per plant (kg)	Conversion yield (tons ha <sup>-1</sup> )
F1	25.54c ± 0.029	82.19d ± 0.674	2.10d ± 0.008	39.90d ± 0.034
F2	27.55b ± 0.045	86.94b ± 0.405	2.40b ± 0.019	45.60b ± 0.056
F3	26.49bc ± 0.107	85.58c ± 0.268	2.27c ± 0.006	43.13c ± 0.102
F4	27.12b ± 0.097	85.42c ± 0.357	2.32c ± 0.014	44.08c ± 0.149
F5	28.15b ± 0.242	87.08b ± 0.095	2.45b ± 0.054	46.55b ± 0.036
F6	27.93b ± 0.015	89.32a ± 0.175	2.49b ± 0.009	47.31b ± 0.083
F7	27.86b ± 0.026	86.64b ± 0.286	2.41b ± 0.026	45.79b ± 0.018
F8	29.52a ± 0.058	90.36a ± 0.078	2.67a ± 0.032	50.73a ± 0.065

Note: Numbers represent mean values of three independent replicates ± SD. In the same data column, values with similar letters represent non-significant differences, values with different letters represent differences in significance (P ≤ 0.05).



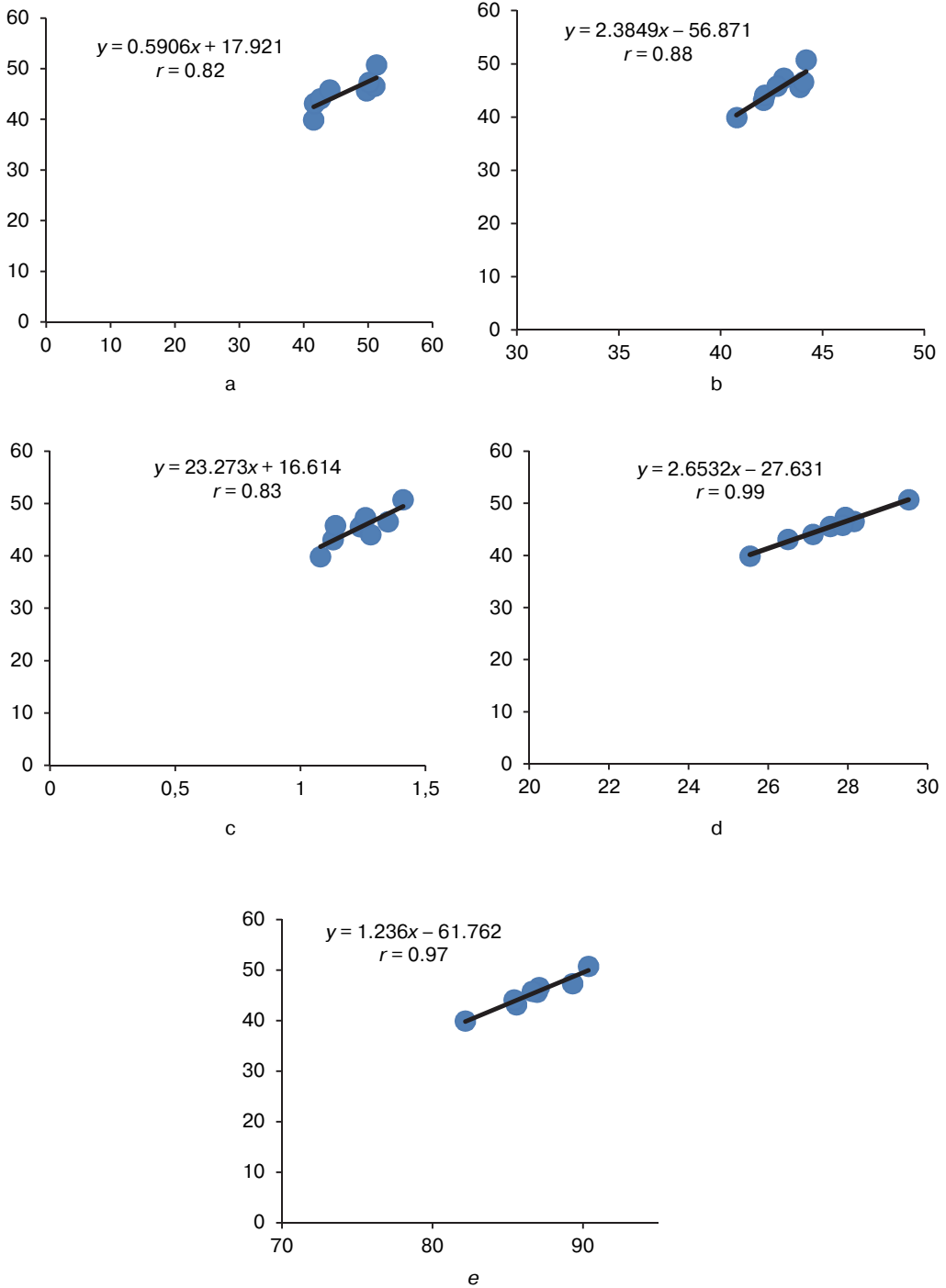
It can be easily seen that different formulas resulted in radical differences in the number of fruits per plant (Table 5). F8 produced the highest values of the number of fruits per plant at 29.52 fruits, followed by F5 with 28.15, F6 with 27.93 and F7 with 27.86. The lowest numbers were obtained in F1 at 25.54 fruits and F3 at 26.49 fruits. It can be pointed out that the combination of micronutrient fertilizer and  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  foliar fertilizer and  $\text{GA}_3$  increased the number of fruits per plant. Additionally, applying  $\text{GA}_3$  and  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  foliar fertilizer or  $\text{GA}_3$  and micronutrient fertilizer also increased fruit set percentage when compared to the control. Despite isolated application,  $\text{GA}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  foliar fertilizer and micronutrient fertilizer still contributed to an improvement in the number of fruits per plant, the efficiency was not as good as the ones in the formulas of their mixture.

The average fruit weight was also various from different formulas (Table 5). The same trend was observed in this criterion when F8 had the highest average fruit weight at 90.36 g, followed by F6 at 89.32 g and F5 at 87.08 g. F1 produced the lowest figure at 82.19 g, followed by F4 at 85.42 g. These ranges were statistically significant. So, it can be concluded that mixing micronutrient fertilizer and  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  foliar fertilizer and  $\text{GA}_3$  in F8, F6 and F5 led to an increase in fruit weight. Meanwhile, applying  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  foliar fertilizer and micronutrient fertilizer or supplementing fertilizers separately showed a slight improvement in fruit weight which was lower than combination formulas.

The actual yield per plant and conversion yield show a close relationship among the average fruit weight and the number of fruits per plant with obtained individual yield (Table 5). F8 resulted in the highest yield at 2.67 kg, which was equivalent to 50.73 tons  $\text{ha}^{-1}$ . In the following places were F6, F5 and F7 at 2.49 kg (equivalent to 47.31 tons  $\text{ha}^{-1}$ ), 2.45 kg (equivalent to 46.55 tons  $\text{ha}^{-1}$ ) and 2.41 kg (equivalent to 45.79 tons  $\text{ha}^{-1}$ ) respectively. The lowest ones were observed in F1 (the control) at 2.10 kg which was equivalent to 39.90 tons  $\text{ha}^{-1}$ , followed by F3 and F4. All the formulas produced a higher yield than the control and the differences were statistically significant. This means  $\text{GA}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  foliar fertilizer and micronutrient fertilizer increased the yield of tomato when cultivated in the condition of the experiment and when being combined, they provided better effects.

**Correlation between some growth indicators and yield of tomato.** Growth indicators are correlated with crop yield; therefore, correlation graphs (Fig. 1) were used to evaluate which indicators more closely correlated with the yield. It should be noted that during the growth process, the flowering stage is the essential one contributing to crop yields [19]. Consequently, we use correlation graphs at the beginning of the flowering stage to demonstrate this correlation.

It can be seen that among analyzed indicators (Fig. 1), the number of fruits per plant showed the strongest correlation with yield ( $r = 0.99$ ), followed by average fruit weight per plant ( $r = 0.97$ ). Obviously, these two indicators had direct effects on the yield of tomato. The number of flowers per plant also had fairly close correlation with yield ( $r = 0.88$ ) while leaf area index and plant height had significant influence on the yield ( $r = 0.83$  and  $r = 0.82$  respectively).



**Fig. 1.** Correlation between some growth indicators and yield of tomato:  
a — between plant height and yield; b — between number of flowers per plant and yield;  
c — between LAI and yield; d — between number of fruits per plant and yield;  
e — between average fruit weight and yield

## Conclusions

Having been supplemented with GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer, tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivated in net houses grew faster and better when compared to the control. The results were from some indicators such as plant height, leaf area index, number of flowers per plant, effective flower rate, number of fruits per plant, average fruit weight and actual yield. The formula in which mixed GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer produced the highest yield at 50.73 tons ha<sup>-1</sup>, followed by the one in which mixed GA<sub>3</sub> and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer at 47.31 tons ha<sup>-1</sup>. The formula of GA<sub>3</sub> and micronutrient fertilizer was in the third place with 46.55 tons ha<sup>-1</sup> while the fourth-place belonged to the formula of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer and micronutrient fertilizer with 45.79 tons ha<sup>-1</sup>. Other formulas which supplemented separately GA<sub>3</sub>, micronutrient fertilizer and Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> foliar fertilizer also produced yield higher than the control (yield of the control was 39.9 tons ha<sup>-1</sup>); however, the figure was not as high as the mixed formulas.

## References

1. Costa JM, Heuvelink E. The global tomato industry. In: Heuvelink E. (ed.) *Tomatoes*. Boston, USA: CABI; 2018; p. 1—26. doi: 10.1079/9781780641935.0000
2. Beecher GR. Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 1998; 218(2):98—100. doi: 10.3181/00379727-218-44282a.
3. Fattore M, Montesano D, Pagano E, Teta R, Borrelli F, Mangoni A, Seccia S, Albrizio S. Carotenoid and flavonoid profile and antioxidant activity in “Pomodoro Vesuviano” tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2016; 53:61—68. doi: 10.1016/j.jfca.2016.08.008
4. Trong LV, Tuong LQ, Thinh BB, Khoi NT, Trong VT. Physiological and biochemical changes in tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) during growth and ripening cultivated in Vietnam. *Bioscience Research*. 2019; 16(2):1736—1744.
5. Martí R, Roselló S, Cebolla-Cornejo J. Tomato as a source of carotenoids and polyphenols targeted to cancer prevention. *Cancers*. 2016; 8(6):58. doi: 10.3390/cancers8060058
6. Xu X, Li J, Wang X, Wang S, Meng S, Zhu Y, Liang Z, Zheng X, Xie L. Tomato consumption and prostate cancer risk: a systematic review and meta-analysis. *Scientific reports*. 2016; 6:37091. doi: 10.1038/srep37091
7. Cheng HM, Koutsidis G, Lodge JK, Ashor A, Siervo M, Lara J. Tomato and lycopene supplementation and cardiovascular risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Atherosclerosis*. 2017; 257:100—108. doi: 10.1016/j.atherosclerosis.2017.01.009
8. Paroussi G, Voyiatzis DG, Paroussis E, Drogoudi PD. Growth, flowering and yield responses to GA<sub>3</sub> of strawberry grown under different environmental conditions. *Scientia Horticulturae*. 2002; 96(1—4):103—113. doi: 10.1016/S0304-4238(02)00058-4
9. Ronen E. Micro-elements in agriculture. *Practical Hydroponics and Greenhouses*. 2016; (164):35—44.
10. Korkmaz N, Askin MA, Ercisli S, Okatan V. Foliar application of calcium nitrate, boric acid and gibberellic acid affects yield and quality of pomegranate (*Punica granatum* L.). *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*. 2016; 15(3): 105—112.

11. Gale HF, Hansen J, Jewison M. China's growing demand for agricultural imports. *USDA-ERS Economic Information Bulletin*. 2015; (136).
12. Parry MAJ, Flexas J, Medrano H. Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*. 2005; 147(3):211—226. doi: 10.1111/j.1744-7348.2005.00032.x
13. Zeidan MS, Mohamed MF, Hamouda HA. Effect of foliar fertilization of Fe, Mn and Zn on wheat yield and quality in low sandy soils fertility. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2010; 6(6): 696—699.
14. Tiwari DK, Pandey P, Giri SP, Dwivedi JL. Effect of GA3 and other plant growth regulators on hybrid rice seed production. *Asian journal of plant sciences*. 2011; 10(2):133—139. doi: 10.3923/ajps.2011.133.139
15. Anjum A, Raj N, Nazeer A, Khan SH. Genetic variability and selection parameters for yield and quality attributes in tomato. *Indian Journal of Horticulture*. 2009; 66(1):73—78.
16. Wang Y, Zhao J, Lu W, Deng D. Gibberellin in plant height control: old player, new story. *Plant cell reports*. 2017; 36(3):391—398. doi: 10.1007/s00299-017-2104-5
17. Narimani H, Rahimi MM, Ahmadikhah A, Vaezi B. Study on the effects of foliar spray of micronutrient on yield and yield components of durum wheat. *Archives of Applied Science Research*. 2010; 2(6):168—176.
18. Aksic MF, Rakonjac V, Nikolic D, Zec G. Reproductive biology traits affecting productivity of sour cherry. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 2013; 48(1):33—41. doi: 10.1590/S0100-204X2013000100005
19. Alburquerque N, Burgos L, Egea J. Influence of flower bud density, flower bud drop and fruit set on apricot productivity. *Scientia Horticulturae*. 2004; 102(4):397—406. doi: 10.1016/j.scienta.2004.05.003
20. Nammidevi M, Shalini B, Bhongle SA, Khiratkar SD. Effect of bio-inoculants with graded doses of NPK on flowering, yield attributes and economics of annual chrysanthemum. *Journal of Soils and Crops*. 2008; 18(1):217—220.
21. Singh AK, Beer K, Pal AK. Effect of vermicompost and bio-fertilizers on strawberry growth, flowering and yield. *Annals of Plant and Soil Research*. 2015; 17(2):196—99.
22. Hossain SAAM, Lixue W, Taotao C, Zhenhua L. Leaf area index assessment for tomato and cucumber growing period under different water treatments. *Plant, Soil and Environment*. 2017; 63(10):461—467. doi: 10.17221/568/2017-PSE
23. Heuvelink E, Bakker MJ, Elings A, Kaarsemaker RC, Marcelis LFM. Effect of leaf area on tomato yield. In *International Conference on Sustainable Greenhouse Systems-Greensys2004*. 2004; 691:43—50. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.691.2
24. Hannan MM, Biswas MK, Ahmed MB, Hossain M, Islam R. Combining ability analysis of yield and yield components in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Turkish Journal of Botany*. 2007; 31(6):559—563.

#### About authors:

*Le Van Trong* — Doctor of Sciences in Biology, Faculty of Natural Sciences, Hong Duc University; 565, Quang Trung st., Dong Ve Ward, Thanh Hoa city, Vietnam; e-mail: bbt.9895@gmail.com

*Bui Bao Thinh* — School of Natural Sciences, Far Eastern Federal University; 8 st. Sukhanova, Vladivostok, Russian Federation; e-mail: buibaothinh9595@gmail.com

## **Влияние гибберелловой кислоты, микроудобрения и внекорневого удобрения — нитрата кальция на рост и урожайность томатов *Solanum lycopersicum* L., выращиваемых во Вьетнаме**

**В.Ч. Ле<sup>1</sup>, Б.Т. Буй<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>Университет Хонгдык, *Тханьхоа, Вьетнам*

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет,  
*Владивосток, Российская Федерация*

\*bbt.9895@gmail.com

**Аннотация.** Приведены экспериментальные результаты, оценивающие влияние гибберелловой кислоты GA<sub>3</sub>, микроудобрения и внекорневого удобрения — нитрата кальция Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> на рост и урожайность томатов сорта ННР11, выращенных в закрытом грунте. Исследования проводились в провинции Тханьхоа, Вьетнам. Эксперимент, включающий 8 вариантов, был составлен в рандомизированном полном блочном дизайне с тремя повторностями. При обработке с применением GA<sub>3</sub>, микроудобрения и внекорневого удобрения Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> наблюдали более высокие показатели роста и развития растений (высота растения, индекс листовой поверхности, количество цветков на растение, эффективная норма цветения, количество плодов на растение, средняя масса плодов на растение) по сравнению с контрольным вариантом. Показатели урожайности томата отличались по вариантам эксперимента. Наивысшая урожайность 50,73 т/га была обнаружена в варианте F8 при применении комбинация GA<sub>3</sub>, микроудобрения и внекорневого удобрения Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, в F6 с использованием GA<sub>3</sub> и внекорневого удобрения Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> урожайность составила 47,31 т/га, в F5 с использованием GA<sub>3</sub> и микроудобрения — 46,55 т/га, в F7 с использованием внекорневого удобрения Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и микроудобрения — 45,79 т/га. Урожайность томатов в вариантах F2, F3, F4 при обработке с использованием GA<sub>3</sub>, микроудобрения и внекорневого удобрения Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в отдельности была соответственно выше, чем в контроле (39,90 т/га), но ниже, чем в комбинированных вариантах. Полученные результаты показывают, что комбинация GA<sub>3</sub>, микроудобрения и внекорневого удобрения Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> может способствовать росту и урожайности томатов.

**Ключевые слова:** томат, *Solanum lycopersicum*, гибберриловая кислота, GA<sub>3</sub>, микроудобрения, внекорневая подкормка, удобрение, нитрат кальция, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, рост, урожайность

### **Благодарности:**

Авторы признательны Университету Хонгдык (Hong Duc University, Vietnam) за поддержку данного исследования.

### **Вклад авторов:**

Ле В.Ч.: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание первоначального текста рукописи; Буй Б.Т.: разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание и редактирование рукописи.

### **Конфликт интересов:**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:**

Поступила в редакцию: 18 августа 2019 г. Принята к публикации: 11 октября 2019 г.

**Для цитирования:**

Le V.T., Bui B.T. Effects of Gibberellic acid, micronutrient fertilizer and Calcium nitrate foliar fertilizer on growth and yield of tomato *Solanum lycopersicum* L. cultivated in Vietnam // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 306—318. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-306-318

**Об авторах:**

*Ле Ван Чонг* — доктор биологических наук, факультет естественных наук, Университет Хонгдык; 40130, Вьетнам, г. Тханьхоа, Уорд Донг Вэ, ул. Куанг Чунг, 565; e-mail: bbt.9895@gmail.com

*Буй Бао Тхинь* — Школа естественных наук, Дальневосточный федеральный университет; Российская Федерация, 690920, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8; e-mail: buibaothinh9595@gmail.com



DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-319-328

Research article

## Influence of salinity on vegetative growth and photosynthetic pigments of bitter almond rootstock

Antar M. Badran<sup>1,2</sup>, Igor Y. Savin<sup>\*2,3</sup>

<sup>1</sup>Desert Research Center, *Cairo, Egypt*

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),  
*Moscow, Russian Federation*

<sup>3</sup>Dokuchaev Soil Science Institute, *Moscow, Russian Federation*

\*Corresponding author: [savin\\_iyu@esoil.ru](mailto:savin_iyu@esoil.ru)

**Abstract.** Bitter almond rootstock is considered one of the most vital rootstocks for stone fruit species but it is classified as a plant sensitive to salinity. This experiment was carried out to study the effect of salt stress on vegetative growth and photosynthetic pigments of bitter almond rootstock as an attempt to sustain growth and increase its tolerance to high salt concentrations. However, the seeds were soaked in salt solution of NaCl as 1, 3, and 5 dsm<sup>-1</sup> for 48 hours before stratification. After that, nuts were sown in perlite and treated with different saline solutions subsequently stratified at 6 °C for eight weeks. Sprouted seeds were cultivated in pots with a mixture of peat and perlite and treated only with the highest salt concentration 5 dsm<sup>-1</sup>. The treatments were arranged in a complete randomized block design with three replications. Vegetative traits and photosynthetic pigments content were estimated. The results revealed that soaking and pre-treating seed of bitter almond rootstock by means of high salt concentration 5 dsm<sup>-1</sup> during the germination period and subsequently after planting produced stronger transplants that had hardening, adaptation and could avoid the hyperosmotic shock of salt stress after planting. It is obvious throughout; increment of stem diameter, plant height, total number of leaves/plant, fresh and dry weight of leaves, photosynthetic pigments and total carbohydrate content of such transplants. While other coming seedlings from low salt concentrations were exposed to hyperosmotic shock and salt injury therefore inhibit growth rate of such plants, increased falling of leaves and finally reduced photosynthetic pigments content in the resulting seedlings.

**Key words:** ion toxicity, salinity, NaCl, stratification, adaptation

### Article history:

Received: 17 May 2018. Accepted: 2 September 2019

### For citation:

Badran AM, Savin IY. Influence of salinity on vegetative growth and photosynthetic pigments of bitter almond rootstock. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4): 319–328. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-319-328

© Badran A.M., Savin I.Y., 2018.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Introduction

Salinity is one of the oldest environmental problems affecting approximately 30% of irrigation land. Salinity affects almost all stages of plant growth, involving emergence, vegetative growth and reproductive development [1]. NaCl is the most of the soluble salts in saline soil. Na ions are among the predominant exchangeable bases [2]. However, soil salinity causes ion toxicity, osmotic stress, nutrient (nitrogen, calcium, potassium, phosphorus, ferrous, and zinc) reduction and oxidative stress on plants. Moreover, the ions  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$  penetrate into cells of plants and may be accumulated in the vacuole for the tolerant plants or in the cytoplasm which in turn are known to be very toxic to the plant cell by injuring the cytoplasmic enzymes in sensitive cultivars [3]. Thus, salinity is considered to be one of major factors limiting sustainable agriculture.

The possibility of employing saline water in irrigation, as well as underground water, well water, or diluted sea water are taken into consideration as limiting factors for sustainability of agriculture in newly reclaimed lands. Regarding bitter almond (*Prunus amygdalus*) rootstock, Family: *Rosaceae* is counted as one of the most vital rootstock species for stone fruits. Whereas, it is mentioned to be drought resistant, the tolerance of almond rootstock to water stress is probably attributed to adaptive mechanisms that founded in their leaves or roots. These mechanisms involve osmotic adjustment, stomatal conductance reduce of transpiration water loss, leaf shedding acceleration, and root depth and density increase [4]. Added to that, almonds may be employed in semi-arid lands to control soil erosion and desertification because of their high adaptation to undesirable environmental conditions [5]. Although it is a vigorous and long-lived plant, almond trees are considered as a sensitive plant to salinity. Today, the preparation of fruit trees to tolerate salt stress is required to sustain agricultural production. This study aimed to elevate resistance and tolerance of bitter almond rootstock to salt stress in the soil and irrigation water.

## Material and Methods

The present investigation was carried out in 2016—2017 to study the effect of salt stress on vegetative growth and photosynthetic pigments content of bitter almond rootstock. Therefore, almond nuts require a cold stratification under humid conditions to emergence from dormancy and enhance germination. Hence, temperatures between 2 and 7 °C are markedly the most efficient [6].

Germination under saline conditions may be a rapid test to explore salt tolerant plants [7]. So, the seeds were collected from a vitality genotype at North Sinai Governorate, Egypt. Uniformly sized and vitality nuts were soaked in salt solutions as follows: 1, 3 and 5  $\text{dSm}^{-1}$  in two days, where  $\text{ppm} = \text{Ec} (\text{ds/m}) \times 640$ , for Ec between 0.1 and 5  $\text{ds/m}^{-1}$  [8]. Salt solutions 1, 3 and 5  $\text{dSm}^{-1}$  were chosen in the consideration of general specifics of plant resistance for salinity [9].

Nuts were then cultivated in perlite and treated with different saline concentrations subsequently stratified at 6 °C for two months (15 October — 13 December, 2016). After cold treatment, non-germinated seeds were treated by 22 °C for 3 weeks (13 De-



ember, 2016 — 5 January, 2017) to enhance emergence. Three seedlings/replicate were obtained and cultivated in pots (15 × 20 cm) which had a mixture of peat and perlite, then treated with the highest salt concentration 5 dSm<sup>-1</sup> once/week at the end of February up to the end of August.

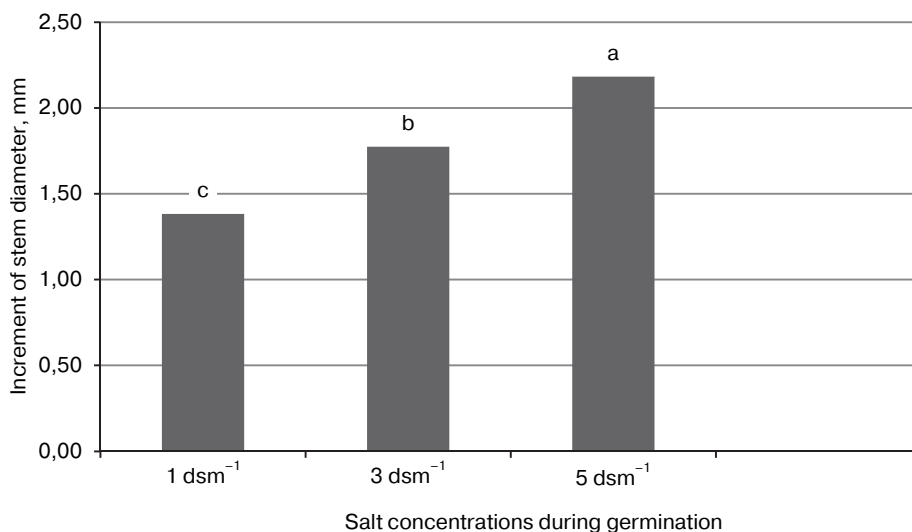
Measurements:

1. Stem diameter increment / plant (mm) was estimated using venire caliper as a following: The increment in stem diameter = stem diameter (at the end of August) – stem diameter (at the end of February).
2. The increment in plant height (cm) was measured as follows: The increment in plant height = plant height (at the end of August) – plant height (at the end of February).
3. Number of leaves / plants was counted.
4. The fresh and dry weight of leaves / plant (g) was measured.
5. Chlorophyll a, band carotenoids (mg·g<sup>-1</sup>) concentrations were determined as described by [10].
6. Total carbohydrate (mg·g<sup>-1</sup> DW) was determined as described in [11].

The experiment was designed in a randomized complete block design with three replicates, and three plants for each. The obtained results were submitted to analysis of variance (ANOVA)-MSTAT software.

## Results and Discussion

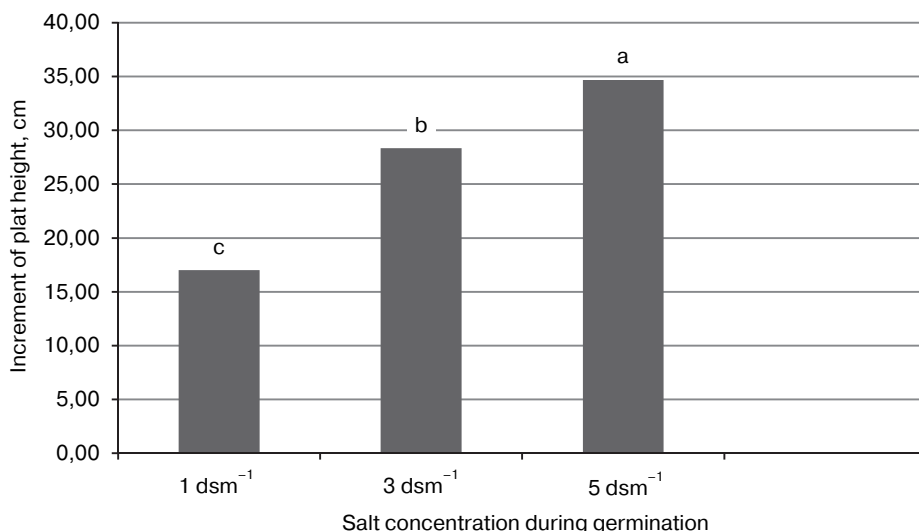
Results obtained respecting the effect of nuts soaked and irrigated by different salinity concentrations on vegetative content and pigments content of bitter almond rootstock were presented in figures 1—6.



**Fig. 1.** Effect of salt stress on increment of stem diameter (mm) of bitter almond rootstock

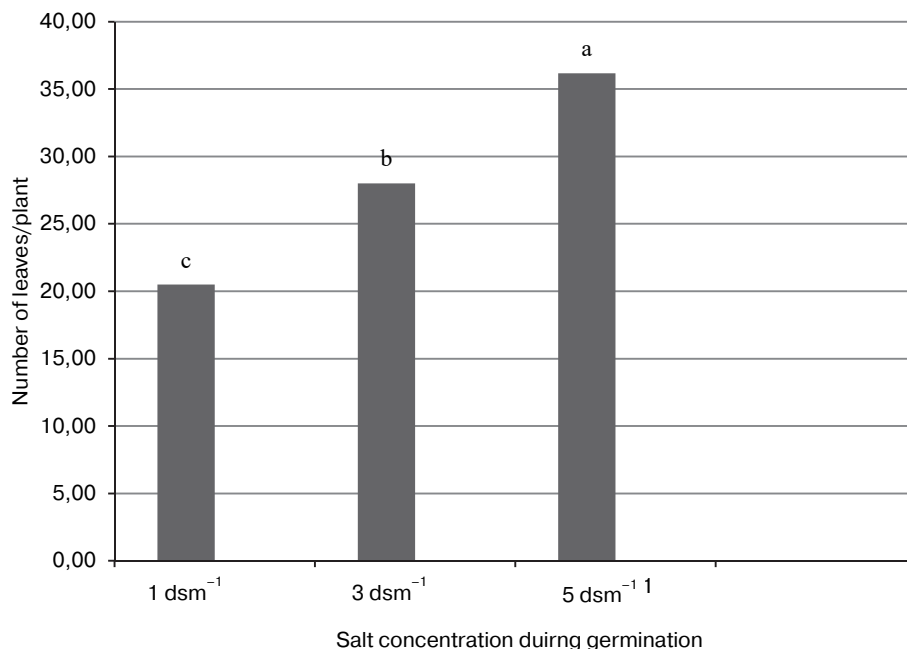
Concerning the seedlings that germinated under low salt concentrations 1 and 3  $\text{dsm}^{-1}$  (Figure 1), it was found that irrigated such seedlings with height salt concentration 5  $\text{dsm}^{-1}$  after germination period caused a subsequent decrease in growth rate of stem diameter compared to the seedlings that already have been germinated under salt stress 5  $\text{dsm}^{-1}$  which gained the adaptation case in germination period and its ability to tolerate salt stress after planting was improved. The gained data in this study in the line with these mentioned early [12]. The data reported that using of NaCl in germination period would be applied as an adaptation method to promote salt tolerance of germinated plants. However, salinity inhibit the cell cycle transiently by reducing the expression and activity of cyclins and cyclin-dependent kinases, thus produce a fewer cells in the meristem, so limiting growth [13]. Additionally the previous research [14] demonstrated, that the growth reduction was attributed to sever changes in the ion relationships of plants as a result of the contrary effect of Na and Cl ions on metabolism or from deranged water relations.

Also, soaking and treating seeds of bitter almond by low salt concentration 1 and 3  $\text{dsm}^{-1}$  before planting positively increased the stem length of bitter almond seedlings compared to the highest salt concentration 5  $\text{dsm}^{-1}$ . Nevertheless, these seedlings when irrigated with high saline solution 5  $\text{dsm}^{-1}$  during the growth period, the growth rate was aggressively decreased as a result of the adverse effects of salt stress 5  $\text{dsm}^{-1}$  (Figure 2). In this respect, the highest growth and the best length of plant was obtained when the seeds were irrigated with 5  $\text{dsm}^{-1}$  during the germination period and later after planting. Generally, the reduction in stem length and diameter means a depression in plant growth. This depression could be attributed to inhibit cell division and cell elongation under conditions of increasing salinity at high salt concentration. This explanation agrees with that reported in [15] on peach seedlings. Salinity promoted abscisic acid which may inhibit cell cycle regulation [16]. The studies demonstrated, that increasing salt stress caused reduction in shoot length of bitter almond [17].



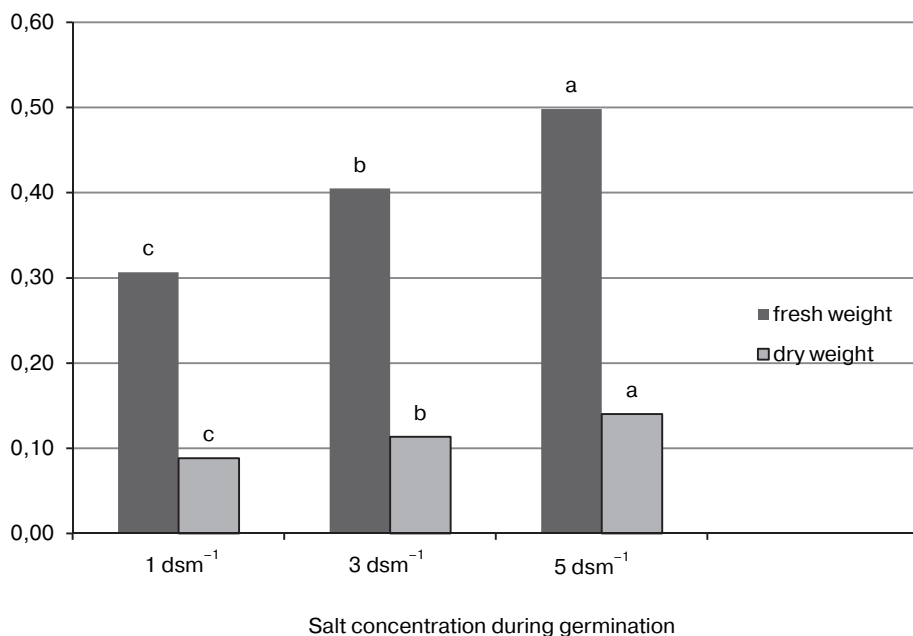
**Fig. 2.** Effect of salt stress on (the) increment of plant height (cm) of bitter almond rootstock

Regarding the seedlings that germinated under low salt concentrations 1 and 3  $\text{dsm}^{-1}$ , it was found that irrigation of those seedlings in high salt solution 5  $\text{dsm}^{-1}$  during the growth period caused the increase in leaf falling as a result of the hyper osmotic shock of salt stress which in turn marked the decrease in the total number of leaves/plant of bitter almond rootstock (Figure 3). In this respect, the highest number of leaves/plant was obtained when the seeds were irrigated with 5  $\text{dsm}^{-1}$  during the germination period and subsequently irrigated with the same concentration during the growth period. It can be concluded from the previous results, that soaking seeds of bitter almond rootstock in high saline solutions before planting lead to adaptation the coming seedlings to salt stress in irrigation water and having more number of leaves compared to those plants which did not/or received low concentrations of salinity. Additionally, salinity accelerates plant senescence and fallen of leaves as a result of the excessive toxic levels of  $\text{Na}^+$  and/or  $\text{Cl}^-$  ions. This can be an adaptive way to translocate accumulated amount of  $\text{Na}^+$  and/or  $\text{Cl}^-$  out of juvenile to the older leaves, reserving them away from the physiologically active tissue which in turn resulted in fallen of older leaves [18].

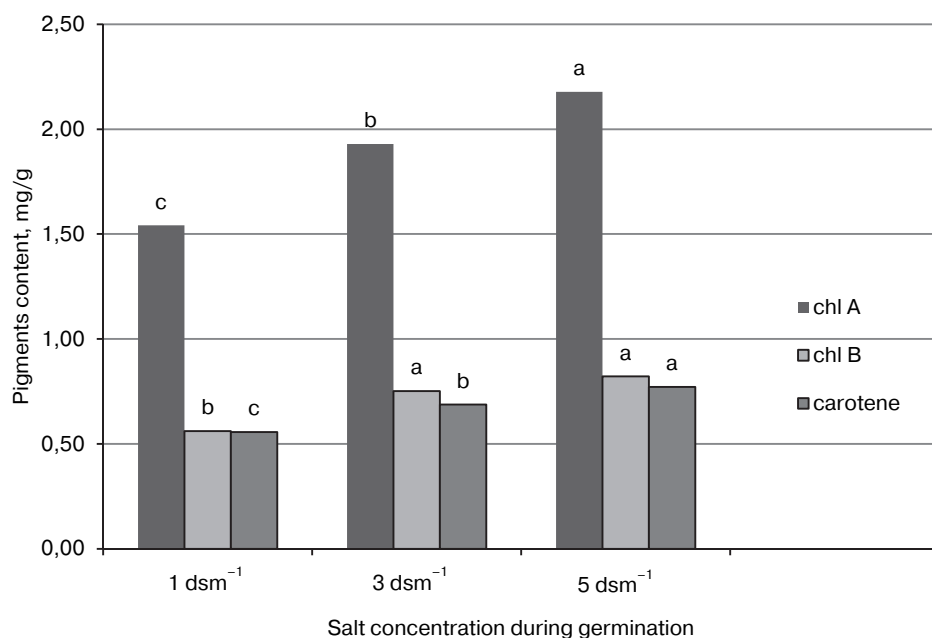


**Fig. 3.** Effect of salt stress on number of leaves/plant of bitter almond rootstock

The data in Figures 4 and 5 demonstrated that, soaking and treating the seeds of bitter almond with salt concentrations reduced both fresh and dry weight of leaves/plant due to changing salt concentration from 1 and 3  $\text{dsm}^{-1}$  in germination period to only 5  $\text{dsm}^{-1}$  after germination. This reduction was proportional to the salt level. Additionally, irrigating by 5  $\text{dsm}^{-1}$  in germination period and later during the vegetative growth period produced the highest increment in both of fresh and dry weight of leaves/plant. In this regard, the previous researches [19] found that the deleterious consequences of high salt concentrations caused in hyper osmotic shock and ionic imbalance effect in plant cells.



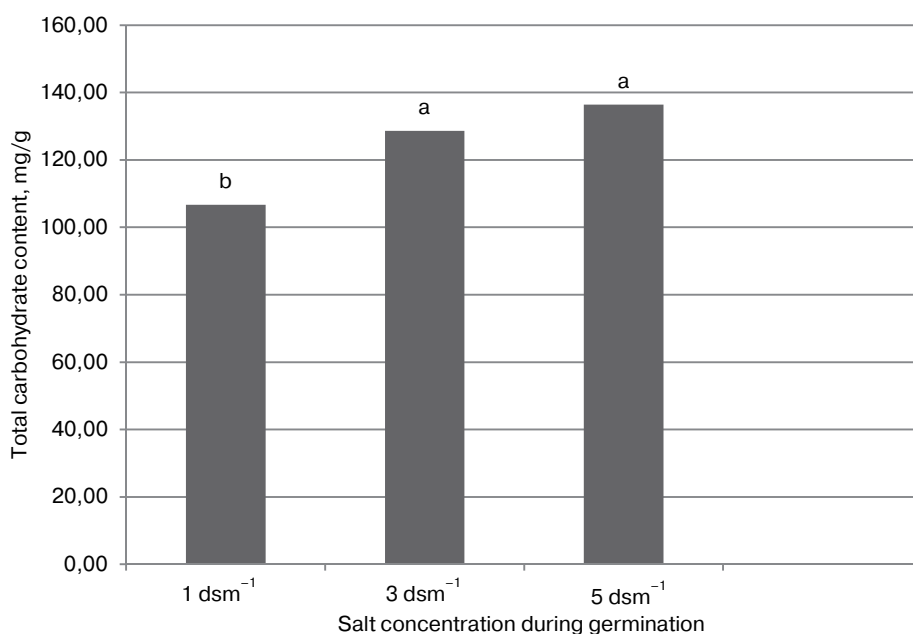
**Fig. 4.** Effect of salt stress on fresh and dry weight of leaves/plant (%) of bitter almond rootstock



**Fig. 5.** Effect of salt stress on photosynthetic pigments content (mg/g) of bitter almond rootstock

The results presented in Fig. 5 show the effect of pre-treating seed by means of various salt concentrations during the germination period subsequently by 5 dsm<sup>-1</sup> after planting on photosynthetic pigments content of bitter almond rootstock. It was

found that, the resulting seedlings from high salt concentration  $5 \text{ dsm}^{-1}$  had hardening and adaptation and could avoid the hyper osmotic shock of salt stress and thus positively reflected on vegetative growth and chlorophyll a, band carotenoids content in the leaves of plants. While other coming seedlings from low salt concentrations were exposed to hyper osmotic shock and salt injury which in turn inhibited growth rate of plants, increased falling of leaves and finally reduced photosynthetic pigments content in the plants. Researchers noted that excess ions of  $\text{Cl}^-$  or  $\text{Na}^+$  in the plant leaves influenced stomatal closure, causing excessive water evaporate and leaf injury symptoms as happened in drought damage [20]. In this regard, salinity promotes the synthesis of abscisic acid which in turn closes stomata when translocated to guard cells. As a result of stomatal closure, photosynthesis decline and oxidative stress conducted. Additionally, the reduction of photosynthetic pigments in stressed transplants can be attributed to the decrease in the uptake of elements required for chlorophyll biosynthesis (i.e., iron and magnesium) [21], or throughout inhibition of chlorophyll synthesis [22].



**Fig. 6.** Effect of salt stress on total carbohydrate content (mg/g) of bitter almond rootstock

Concerning the effect of nuts soaking in saline solutions at the stratification period and before planting, it increased the total carbohydrate content of bitter almond rootstock. It is therefore clear that the germinated seeds under high concentration of salinity 3 and  $5 \text{ dsm}^{-1}$  produced seedlings which had adapted to salinity in irrigation water  $5 \text{ dsm}^{-1}$  after planting. It resulted in enhanced vegetative growth, increased number of leaves, leaf area and total chlorophyll content which in turn increased the rate of photosynthesis process, subsequently accumulation of total carbohydrate in the plants. While, the other seeds that germinated under control treatment showed less resistance and significantly gave the lowest value of total carbohydrate content in the plants.

## Conclusion

Increasing the salt concentrations from 1 and 3  $\text{dsm}^{-1}$  in soaking and stratification periods up to 5  $\text{dsm}^{-1}$  after planting resulted in decrease of vegetative growth and photosynthetic pigments due to hyper osmotic shock and salt injury of salt stress. On the other hand, pre-treating and irrigation of bitter almond transplants with high saline solution 5  $\text{dsm}^{-1}$  produced adapted and stronger seedling and thus positively reflected on vegetative traits and photosynthetic pigments. For growers and nurseries, this investigation can recommend to cultivate bitter almond seedlings under saline conditions or in new reclaimed soil; that's soils which face desertification dangers or that will be irrigated with diluted sea water or underground wells should be subjected to soaking and irrigation with saline water during germination period and early stages of growth in nursery.

## References

1. Gupta IC. Use of saline water in agriculture. *Oxford and IBH Publishing Co.* 1979; 2—28.
2. Tester M, Davenport RA.  $\text{Na}^+$  tolerance and  $\text{Na}^+$  transport in higher plants. *Annals of Botany.* 2003; 91(5):503—527. doi: 10.1093/aob/mcg058
3. Kefu Z, Hai F, San Z, Jie S. Study on the salt and drought tolerance of Suaeda salsa and Kalanchoe clairemontiana under iso-osmotic salt and water stress. *Plant Sci.* 2003; 165(4):837—844. doi: 10.1016/S0168-9452(03)00282-6
4. Castel JR, Fereres E. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *Journal of Horticultural Science.* 1982; 57(2):175—187. doi: 10.1080/00221589.1982.11515038
5. Bernstein L, Francois LE, Clark RA. Salt tolerance in ornamental shrubs and ground covers. *Amer Soc Hort Sci. J.* 1972; 97:550—556.
6. Lipe WN, Crane JC. Dormancy regulation in peach seeds. *Science.* 1966; 153(3735):541—542. doi: 10.1126/science.153.3735.541
7. Miryam O, Moulay B, Narimane Z. Effect of salinity on seed germination of Abelmoschus esculentus. *Afr J Agric Res.* 2015; 10(19):2014—2019. doi: 10.5897/AJAR2013.8341
8. Ayers RS, Westcot DW. *Water quality for agriculture.* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 1989.
9. Yücedağ C, Gültekin HC. Effects of cold stratification and sowing time on germination of almond (*Amygdalus communis* L.) and wild almond (*Amygdalus orientalis* L.) seeds. *African Journal of Agricultural Research.* 2011; 6(15): 3522—3525.
10. Pochinok KN. *Metody biokhimičeskogo analiza rastenii* [Methods of biochemical plant analysis]. Kiev. Naukova Dumka Publ. 1976. (In Russ). *Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений.* Киев: Наукова Думка, 1976. 336 с.
11. Jain VM, Karibasappa GN, Dodamani AS, Mali GV. Estimating the carbohydrate content of various forms of tobacco by phenol-sulfuric acid method. *J Edu Health Promot.* 2017; 6:90. doi: 10.4103/jehp.jehp\_41\_17
12. Cano EA, Bolarin MC, Perez-Alfocea F, Caro M. Effect of NaCl priming on increased salt tolerance in tomato. *J Hort Sci.* 1991; 66(5): 621—628. doi: 10.1080/00221589.1991.11516192
13. West G, Inze D, Beemster GT. cell cycle modulation in the response of the primary root of Arabidopsis to salt stress. *Plant Physiol.* 2004; 135(2):1050—1058. doi: 10.1104/pp.104.040022
14. Delane R, Greenway H, Munns R, Gibbs J. Ion concentration and carbohydrate status of the elongation leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl: 1. Relationship between solute concentration and growth. *Jour of Exp Botany.* 1982; 33(4):557—573. doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/33.4.557-a>
15. Bondok A, Tawfic H, Shaltout AD, Abd-El-Hamid N. Effect of salinized irrigation water on chemical constituents of Flordaprince prince peach cultivar budded on different peach rootstocks. *Assiut J Agric Sci.* 1995; 26(1):149—171.

16. Wang H, Qi Q, Schorr P, Cutler AJ, Crosby WL, Fowke LC. ICK1, a cyclin-dependent protein kinase inhibitor from *Arabidopsis thaliana* interacts with both Cdc2a and CycD3, and its expression is induced by abscisic acid. *Plant J.* 1998; 15(4):501—510. doi: 10.1046/j.1365-313X.1998.00231.x
17. Shibli RA, Shatanawi MA, Swaidat IQ. Growth, osmotic adjustment and nutrient acquisition of bitter almond under induced sodium chloride salinity in vitro. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 2003; 34(13—14):1969—1979. doi: 10.1081/CSS-120023231
18. Winter E. Salt tolerance of *Trifolium alexandrinum* L. II. Ion balance in relation to its salt tolerance. *Australian Journal of Plant Physiology.* 1982; 9(2):227—237. doi: 10.1071/PP9820227
19. Niu X, Bressan RA, Hasegawa PM, Pardo JM. Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiol.* 1995; 109(3):735—742. doi: 10.1104/pp.109.3.735
20. Bernstein L, Francois LE, Clark RA. Salt tolerance in ornamental shrubs and ground covers. *Amer Soc Hort Sci J.* 1972; 97:550—556.
21. Reddy MS. Metabolism of chloroplasts isolated from leaves of ground nut plant (*Arachis hypogaea*) grown in normal salinized and alkalized soils. [Ph.D. Thesis] Tirupati; 1976.
22. Patil GP, Boswell MT, Ratnaparkhi MV. Dictionary and classified bibliography of statistical distributions in scientific work, Vol. 2: Continuous univariate models. Burtonsville, MD: International Cooperative Publishing House; 1984.

#### About authors:

*Badran Antar Mahmud* — Desert Research Center, 1 Mathaf Al-Matareya St., POB 11753, Cairo, Egypt; PhD student, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russian Federation; e-mail: dr\_antar\_mahmoud@yahoo.com

*Savin Igor Yuryevich* — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research, Dokuchaev Soil Science Institute, 7/2 Pyzhyovskiy St., 119017, Moscow, Russian Federation; Professor, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya St., 117198, Moscow, Russian Federation; e-mail: savin\_iyu@esoil.ru

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-319-328

Научная статья

## Влияние засоления на вегетативный рост и фотосинтетические пигменты горького миндаля

А.М. Бадран<sup>1,2</sup>, И.Ю. Савин<sup>2,3\*</sup>

<sup>1</sup>Центр исследований пустынь, Каир, Египет

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Российская Федерация

\*savin\_iyu@esoil.ru

**Аннотация.** Горький миндаль является одним из наиболее используемых в качестве подвоя сортов косточковых плодовых культур, однако отличается чувствительностью к солевому стрессу. Проведены опыты по изучению воздействия различных уровней засоленных поливных вод на вегетативный рост и фотосинтетические пигменты горького миндаля с задачей поиска метода увеличения

его устойчивости к засолению. Орехи до стратификации замачивали в растворе NaCl различной степени: 1 dsm<sup>-1</sup>, 3 dsm<sup>-1</sup> и 5 dsm<sup>-1</sup> за 48 ч. Затем семена посеяли в перлит и в течение 8 недель при температуре 6 °С поливали раствором NaCl различной степени. Проросшие семена высаживали в горшки со смесью торфа и перлита и поливали водным раствором с самой высокой концентрацией соли 5 dsm<sup>-1</sup>. Проведены полные блочные рандомизированные исследования с трехкратным повторением. Результаты показали, что замачивание и орошение семян горького миндаля водой с высоким концентратом соли 5 dsm<sup>-1</sup> в период прорастания, а затем после посадки приводило к большей силе рассады с наилучшей адаптацией к солевому стрессу после посадки, что четко выявляется по таким параметрам, как прирост диаметра стебля, высота растения, общее количество листьев/растений, свежая и сухая масса листьев, количество фотосинтетических пигментов и общее содержание углеводов. При меньшей концентрации соли саженцы подвергались гиперосмотическому шоку, поэтому солевые травмы препятствовали росту таких растений, происходило увеличение падения листьев и снижение содержания фотосинтетических пигментов в полученных саженцах.

**Ключевые слова:** NaCl, ионная токсичность, засоленность, стратификация, адаптация

### **История статьи:**

Поступила в редакцию: 17 мая 2018 г. Принята к публикации: 2 сентября 2019 г.

### **Для цитирования:**

Badran A.M., Savin I.Y. Influence of salinity on vegetative growth and photosynthetic pigments of bitter almond rootstock // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 319—328. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-319-328

### **Об авторах:**

*Бадран Антар Махмуд* — Центр исследований пустынь, Египет, 11753, Каир, ул. Музей Аль-Матария, д. 1; аспирант, агроинженерный департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8, к. 2; e-mail: dr\_antar\_mahmoud@yahoo.com

*Савин Игорь Юрьевич* — член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Российская Федерация, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2; профессор, агроинженерный департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8, к. 2; e-mail: savin\_iyu@esoil.ru





DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-329-346  
UDC 635.64-152

Research article

## Resource-saving techniques for increasing tomato productivity

Elena V. Kalmykova<sup>1\*</sup>, Aleksey A. Novikov<sup>1</sup>,  
Nikolay Yu. Petrov<sup>2</sup>, Olga V. Kalmykova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian Research Institute of Irrigated Agriculture  
*Volgograd, Russian Federation*

<sup>2</sup>Volgograd State Agrarian University  
*Volgograd, Russian Federation*

\*Correspondent author: [kalmykova.elena-1111@yandex.ru](mailto:kalmykova.elena-1111@yandex.ru)

**Abstract.** The purpose of the research was to substantiate feasibility and effectiveness of cultivating promising tomatoes varieties and hybrids in the Lower Volga region to obtain high-quality yields of 150 t/ha and more. It was the first time for chestnut soils, when comprehensive research on resource-saving techniques increasing vegetable crop productivity in an extremely arid climate under drip irrigation by regulating physiological and biological processes was conducted, and a system for applying these techniques was developed. The experiments were carried out according to generally accepted methods. The study revealed that in order to obtain the planned productivity of 110, 130, 150 t/ha in all the tomato varieties and a hybrid (Volgogradsky 5/95, Fokker F1 and Gerkules), differentiated irrigation regime was used. It resulted in yield increase up to 18.8 t/ha (when compared to planned 130 t/ha) and up to 10.2 t/ha (when compared to planned 150 t/ha) in the variants where Energiya-M growth regulator and Rastvorin water-soluble fertilizer were used with complete mineral fertilizer. Hercules tomato variety treated with  $N_{285}P_{115}K_{145}$  + Rastvorin + Energiya-M was the most economically viable for cultivation. According to the variants, a return on production costs of 6.87 rubles of income was achieved.

**Key words:** irrigation regime, productivity, tomato, water-soluble fertilizers, growth regulator, quality improvement

### Article history:

Received: 9 September 2019. Accepted: 14 November 2019

### For citation:

Kalmykova EV, Novikov AA, Petrov NY, Kalmykova OV. Resource-saving techniques for increasing tomato productivity. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4): 329–346. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-329-346

© Калмыкова Е.В., Новиков А.А., Петров Н.Ю., Калмыкова О.В., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Комплексные научные исследования ресурсосберегающих приемов повышения продуктивности томата

Е.В. Калмыкова<sup>1\*</sup>, А.А. Новиков<sup>1</sup>,  
Н.Ю. Петров<sup>2</sup>, О.В. Калмыкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,  
г. Волгоград, Российская Федерация

<sup>2</sup>Волгоградский государственный аграрный университет,  
г. Волгоград, Российская Федерация

\*kalmykova.elena-1111@yandex.ru

**Аннотация.** Цель исследований — обосновать целесообразность и эффективность возделывания перспективных сортов и гибридов томатов в условиях Нижнего Поволжья для получения урожайности 150 и более т/га высококачественной продукции. Впервые в зоне каштановых почв проводились комплексные научные исследования ресурсосберегающих приемов повышения продуктивности овощной культуры в условиях острозасушливого климата путем регулирования физиолого-биологических процессов при капельном орошении и разработана система применения этих приемов. Исследования в опыте осуществлялись согласно общепринятым методикам. По результатам исследований было выявлено, что на культуре томат, на всех исследуемых сортах и гибриде (Волгоградский 5/95, Фоккер F<sub>1</sub> и Геркулес), для получения планируемой продуктивности в 110, 130, 150 т/га необходимо создавать дифференцированный режим орошения, что давало возможность получать прибавку урожайности до 18,8 т/га (на планируемую урожайность 130 т/га) и до 10,2 т/га (на планируемую урожайность 150 т/га) в вариантах NPK + Растворин + Энергия-М. Для производителя наиболее экономически оправданным являлось возделывание томата сорта Геркулес на фоне N<sub>285</sub>P<sub>115</sub>K<sub>145</sub> + Растворин + Энергия-М. По вариантам достигалась окупаемость производственных затрат в сумме 6,87 рублей дохода.

**Ключевые слова:** режим орошения, продуктивность, томат, водорастворимые удобрения, регулятор роста, повышение качества

### История статьи:

Поступила в редакцию: 9 сентября 2019 г. Принята к публикации: 14 ноября 2019 г.

### Для цитирования:

Калмыкова Е.В., Новиков А.А., Петров Н.Ю., Калмыкова О.В. Комплексные научные исследования ресурсосберегающих приемов повышения продуктивности томата // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. 329—346. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-329-346

### Introduction

Vegetable growing is one of the main branches in agro-industrial complex, providing population with vitamins C, B, B<sub>2</sub>, A, H, B<sub>9</sub>, pectin, minerals, nutrients and other substances that determine a person's healthy diet all year round [1—3].

In the Russian Federation, main vegetable croplands including tomatoes are located in the southern regions. The Lower Volga region is considered to be 'Russian garden'.

The region has favorable climatic conditions for vegetable growing and, therefore, occupies a leading position in the country in vegetables production. Here, the industry depends on irrigation, since irrigated agriculture occupying 53% of the arable land gives 90% of all gross output [4]. Vegetable production in this region is at consistently high levels — open-ground vegetable harvests in the industrial sector of vegetable growing amounted to 531.3 thousand tons in 2016 — 11.6% of the total value in the Russian Federation, this was the second place among Russian regions. For sown areas, the second place belongs to vegetable crops — 15.6 thousand ha, which is 8.3% of all areas [5].

Tomatoes are one of the most nutritious vegetables. The fruits of tomatoes contain sugars, acids, aromatic substances, as well as a large amount of vitamins. High taste, nutritional and dietary qualities, and a variety of cooking methods have made tomatoes a popular vegetable [3, 6].

Currently, production of open ground vegetables is carried out mainly without drip irrigation, not considering variety adaptability to climatic conditions [7—9].

High yields combined with high quality fruits are a common requirement for tomato producers, which can only be achieved considering critical production factors. These include proper irrigation management, variety selection, disease prevention, soil fertility, climate, etc. Many authors have revealed that adherence to agro-technological measures with the key role of nutrition determined tomato quality and yield [10—17].

Therefore, the study on resource-saving techniques increasing vegetable crop yields, including micro-irrigation, water-soluble fertilizers and growth stimulants, is relevant.

The purpose of the research was to rationalize technological methods for obtaining 150 t/ha and more high-quality yields of vegetables considering climatic conditions of the Lower Volga region.

### Materials and methods

Split plot experiments were carried out according to [18—21]. Arrangement of plots by varieties and hybrids was systematic, by nutritional regimes — randomized. The accounting area of first-order plots (water regime), second-order plots (varieties and hybrids) and third-order plots (nutrient regimes) was 295 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup> and 7.5 m<sup>2</sup>, respectively. The experiment was replicated three times. Scheme for sowing tomato seeds was 0.50 + 0.90 m.

*Factor A* — agro-ecological assessment of varieties and hybrids of Russian and foreign breeding. The following tomato varieties and hybrids were studied: Volgogradsky 5/95 (standard), Fokker F1 hybrid, Gerkules variety.

*Factor B* — scientific substantiation of managing planned tomato productivity: 110, 130, 150 t/ha. Variants:

- 1) control;
- 2) Energiya-M growth regulator;
- 3) fertilizers for 110 t/ha yield: N — 210 kg/ha active ingredient; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 85 kg/ha active ingredient, K<sub>2</sub>O — 105 kg/ha active ingredient;
- 4) fertilizers for 130 t/ha yield: N — 250 kg/ha active ingredient; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 100 kg/ha active ingredient; K<sub>2</sub>O — 125 kg/ha active ingredient;

- 5) fertilizers for 150 t/ha yield: N — 285 kg/ha active ingredient; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 115 kg/ha active ingredient, K<sub>2</sub>O — 145 kg/ha active ingredient;
- 6) Rastvorin water-soluble fertilizer;
- 7) Rastvorin water-soluble fertilizer and Energiya-M growth regulator;
- 8) NPK fertilizers, Rastvorin and Energiya-M for 110 t/ha yield;
- 9) NPK fertilizers, Rastvorin and Energiya-M for 130 t/ha yield;
- 10) NPK fertilizers, Rastvorin and Energiya-M for 150 t/ha yield.

*Factor C* — irrigation regimes affect on tomato productivity:

- 1) maintaining pre-irrigation moisture level at 75...75...75% field capacity (FC) (constant irrigation regime);
- 2) maintaining pre-irrigation moisture level at 70...80...75% FC (differentiated irrigation regime): sowing — flowering — 70% FC; flowering — milk ripeness — 80% FC; milk ripeness — full ripeness — 75% FC.

As mineral fertilizers, ammonium nitrate, double superphosphate and potassium chloride were studied. For irrigation in the experimental plot, Neodrip drip irrigation system was mounted complete with drip pipelines having water outlets every 0.3 m and 1.55 l/h dropper capacity. Irrigation pipelines of drip irrigation system were laid simultaneously during crop sowing.

The first top dressing (10...15 g of Rastvorin per 10 l of water) was carried out after 5...7 leaves appeared. During fruit formation, Rastvorin solution (25 g per 10 l of water) was used. Spraying was carried out with the same solution after 7...10 days. The presence of several fertilizers made it possible to combine top dressing depending on phase of plant development. The treatment with Energiya-M growth regulator included: 1) seed soaking (1 ml/1 kg of seeds) for 30...40 min with operation solution flow rate of 2 l/kg; 2) subsequent spraying (15 g/ha) and leaf top dressing (15 g per 300 g of water) in initial growth period, and during flower formation-flowering growth stage.

## Results and Discussion

The studies were conducted in 2011—2016 in Zaitseva V.A. farm, Gorodishchensky district, the Volgograd region. Composition of the studied soils was heavy loamy in 80% of the territory and was characterized by a low (2.31%) humus content in arable layer, and at a depth of 0.4...1.0 m its amount decreased from 1.05 to 0.32%. Low humus content in this soil is explained by the fact that conversion of organic substances in the zone of chestnut soils has a specific zonal character. Water-physical soil properties are affected directly by soil composition. Soil density varied horizontally, the lowest was noted in 0.0...0.1 m layer — 1.24 t/m<sup>3</sup>. With further deepening, this indicator increased in the studied soil layer: for 0.0...0.6 m — to 1.35 t/m<sup>3</sup>, for 0.0...1.0 m — to 1.45 t/m<sup>3</sup>. The highest soil density was noted at 1 m depth and amounted to 1.62 t/m<sup>3</sup>. Total soil porosity of arable layer ranged from 50.4 to 47.5%. The field capacity ranged from 25.60% in 0.0...0.1 m layer to 22.82% in 0.0...0.6 m layer. The field capacity was 20.4%, wilting moisture for 0.0...1.0 m layer averaged 8.49%; soil pH was 6.8...8.0. Hydrolyzable nitrogen availability (according to Kornfield [22—23]) of experimental plot soil was low (less than 100 mg/kg of soil), mobile phosphorus (according to Machigin [24]) — from low to medium (16...30 mg/kg of soil), exchange potassium (according to Machigin [24]) — high (300...500 mg/kg of soil).

In our experiments, an increase in irrigation rate under differentiated irrigation regime was due to different irrigation rates and distribution of irrigation dates by growth and development phases. For constant irrigation regime, irrigation rate was stable over all interphase periods and was within 163 m<sup>3</sup>/ha. For differentiated irrigation regime, irrigation rate was redistributed over growth stages: during sowing and flowering — 199 m<sup>3</sup>/ha with 8 average total number of irrigations during this period, which was 3 less irrigations compared to constant irrigation regime. Under constant irrigation regime in flowering — fruit formation — milk ripeness stages, 10 irrigations (163 m<sup>3</sup>/ha) were carried out, under differentiated irrigation — 16 irrigations (127 m<sup>3</sup>/ha). In milk ripeness — full ripeness stage, 7 irrigations (163 m<sup>3</sup>/ha) was performed under both irrigation regimes on average over research years.

Differentiation of irrigation regime parameters in research years was the most significant in individual phases of growth and development of tomatoes. So, in extremely arid years, the largest number of irrigations were required for all interphase periods and irrigation regimes: 28 and 30 — for constant irrigation regime in 2012 and 2014, respectively; 27 and 30 — with for differentiated regime in 2012 and 2014, respectively. The irrigation rate during this period was the largest and amounted to 5542 m<sup>3</sup>/ha in 2012 and 5868 m<sup>3</sup>/ha in 2014 under a constant irrigation regime, and 5906 and 6268 m<sup>3</sup>/ha under differentiated regime in 2012 and 2014, respectively. In the most favorable hydrothermal indices in 2016, 15 irrigations were carried out with the lowest irrigation rate — 2934 m<sup>3</sup>/ha while constantly maintaining 75% soil moisture, 3207 m<sup>3</sup>/ha for differentiated regime. However, during the growing season, differences were observed in sowing-flowering period: with a constant irrigation regime — 5, with differentiated — 1 irrigation less. Significant differences were observed in flowering — fruit formation — milk ripeness period: 6 irrigations with 163 m<sup>3</sup>/ha rate were carried out under constant irrigation regime, 10 irrigations with 127 m<sup>3</sup>/ha rate — under differentiated irrigation. 23 irrigations (4483 m<sup>3</sup>/ha) averaged for constant regime of irrigation in 2011—2016, 22 irrigations (4804 m<sup>3</sup>/ha) were carried out under differentiated regime. In all cases, the irrigation rate was the main entry in water balance of tomato crops.

At the same time, in different years, depending on the prevailing weather conditions, irrigation water accounted 44.95 to 85.98% for a constant irrigation regime and 47.29 to 86.83% of total water consumption — for differentiated one. In extremely arid years, irrigation water consumption ranged from 79.19 to 80.32% (2012), from 85.98 to 86.83% (2014) of the total water consumption by vegetable plants in the experimental variants, while maintaining a constant and differentiated irrigation regimes, respectively. Water consumption in the wettest 2016 was different, when moisture supply in form of irrigation water amounted to 44.95% for constant irrigation regime and 47.29% of its total consumption for differentiated regime.

In our experiments, the total water consumption during the growing season over the research years averaged 6301.3 mm for constant irrigation regime, 6609.5 mm for differentiated regime, of which 71.0 and 72.4% were irrigations, respectively. Thus, with an increase in pre-irrigation soil moisture, the irrigation rate and the proportion of irrigation water in the total water consumption increase.

The results showed that a smaller number of tomato fruits and a less significant average weight were found on plants grown without fertilizers in control variants for all irrigation regimes.

In terms of NPK ratios for 110, 130, 150 t/ha yield of tomatoes, the number of formed fruits on one plant was higher under the differentiated irrigation regime rather than constant regime.

The combined treatment of tomato plants with mineral fertilizers + Rasvorin + Energiya-M contributed to increase in fruit number per plant under constant irrigation regime for Gerkules cultivar up to 19.4...20.7 fruits with 102...107 g average weight, Fokker F1 hybrid generated the largest number of fruits (21.0...22.6), but the smallest average weight (92...98 g), while the standard variety Volgogradsky 5/95 had 17.7...18.7 fruits weighing 101...106 g. Differentiation of irrigation rates increased number of fruits in Gerkules cultivar to 20.2...21.8 with 107...112 g average weight. A larger number of fruits was formed on Fokker F1 hybrid — 22.7...24.1 fruits weighing 94...101 g, which was higher by 1.3...1.6 and 3.8...3.9 than the indicators on the standard variety (103...110 g).

Thus, to obtain the planned productivity of 110, 130, 150 t/ha in all studied tomato varieties and a hybrid (Volgogradsky 5/95, Fokker F1 and Gerkules), it is necessary to create a differentiated irrigation regime, which made it possible to obtain a 18.8 t/ha yield increase (for the planned yield of 130 t/ha) and up to 10.2 t/ha increase (for the planned yield of 150 t/ha) in NPK + Rasvorin + Energiya-M variant (table).

For qualitative characteristics of tomato fruits, we revealed that the most intensive accumulation of dry substances in tomato fruits was facilitated by application of the highest fertilizer doses in combination with Rastvorin and growth regulator under a differentiated irrigation regime. The increase in dry solids in this variant was 0.2% in Volgogradsky 5/95, 0.6% in Fokker F1 hybrid and Gerkules compared to the constant irrigation regime. The experiments showed that organic acids content in tomato fruits varied slightly depending on the species, fertilizer doses and moisture conditions.

The lowest content of ascorbic acid (0.53...0.56% — for a constant regime of irrigation; 0.56% — for a differentiated regime of irrigation) was observed in fruits from unfertilized plots. In all variants with mineral fertilization for the planned 110, 130, 150 t/ha yield levels, acidity of fruit was in the range of 0.61...0.64% in the standard Volgogradsky 5/95 variety grown under a constant irrigation regime, and 0.63...0.65% — under differentiation irrigation water according to growth periods.

Due to its biological characteristics, Fokker F1 hybrid and Gerkules variety accumulated a smaller amount of acids in fruits — 0.57...0.60% under a constant irrigation regime. Under differential irrigation, Fokker F1 hybrid decreased acid level to 0.61...0.64%, and Gerkules variety increased it to 0.66% when applying fertilizers for the planned 150 t/ha yield compared to Volgogradsky 5/95 variety. Thus, the enhanced water and nutrient soil regime had a positive effect on yields and improved biochemical fruit composition.

Economically, cultivation of Gerkules tomato under  $N_{285}P_{115}K_{145}$  + Rastvorin + Energiya-M was the most profitable. In the variants, 6.87 rubles income was achieved.

**Efficiency of the studied agricultural practices in tomato, average for 2011–2016**

Variant	Volgogradsky 5/95			Fokker F1			Gerkules		
	yield, t/ha		market-ability of fruits,%	yield, t/ha		market-ability of fruits,%	yield, t/ha		market-ability of fruits,%
	gross	sal-able		gross	sal-able		gross	sal-able	
75...75...75% FC									
Control	56.5	42.7	75.5	70.9	54.3	76.5	74.5	58.1	77.9
Energiya-M	68.8	54.9	79.6	84.5	68.6	81.1	88.4	72.7	82.2
N <sub>210</sub> P <sub>85</sub> K <sub>105</sub>	82.6	67.7	81.9	99.7	82.7	82.9	106.6	89.6	84.0
N <sub>250</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub>	91.7	75.8	82.6	110.3	92.3	83.6	117.2	99.3	84.7
N <sub>285</sub> P <sub>115</sub> K <sub>145</sub>	99.8	83.1	83.2	119.1	100.3	84.2	126.3	108.0	85.5
Rastvorin	73.9	59.3	80.1	89.9	73.1	81.3	94.4	78.0	82.6
N <sub>210</sub> P <sub>85</sub> K <sub>105</sub> + Mortar	92.4	76.5	82.7	110.1	92.2	83.7	116.7	98.9	84.7
N <sub>250</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub> + Mortar	108.2	90.3	83.4	127.6	107.6	84.3	133.9	114.6	85.6
N <sub>285</sub> P <sub>115</sub> K <sub>145</sub> + Mortar	115.4	97.0	84.0	136.4	115.9	85.0	142.1	122.5	86.2
Rastvorin + Energiya-M	77.4	63.0	81.3	95.3	79.1	83.0	100.3	84.0	83.8
N <sub>210</sub> P <sub>85</sub> K <sub>105</sub> + Rastvorin + Energiya-M	99.0	82.9	83.7	119.4	100.9	84.4	125.8	107.9	85.7
N <sub>250</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub> + Rastvorin + Energiya-M	114.1	96.2	84.3	136.0	116.0	85.2	142.5	123.0	86.3
N <sub>285</sub> P <sub>115</sub> K <sub>145</sub> + Rastvorin + Energiya-M	123.2	104.7	84.9	145.1	124.5	85.8	153.9	133.7	86.8
70...80...75% FC									
Control	61.1	46.9	76.7	75.2	58.5	77.7	78.8	62.0	78.7
Energiya-M	72.7	59.0	81.2	88.8	73.1	82.3	92.2	77.0	83.4
N <sub>210</sub> P <sub>85</sub> K <sub>105</sub>	88.1	73.1	83.0	105.0	88.8	84.6	112.0	95.7	85.4
N <sub>250</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub>	98.3	82.5	83.8	116.3	99.3	85.3	124.0	107.0	86.3
N <sub>285</sub> P <sub>115</sub> K <sub>145</sub>	106.4	89.9	84.5	124.9	107.4	86.0	133.4	116.1	87.0
Rastvorin	78.3	64.0	81.6	94.8	78.5	82.8	99.1	82.9	83.6
N <sub>210</sub> P <sub>85</sub> K <sub>105</sub> + Rastvorin	98.5	82.7	83.9	116.4	99.4	85.4	122.4	105.9	86.4
N <sub>250</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub> + Rastvorin	115.2	97.5	84.6	134.1	115.6	86.1	140.2	122.3	87.2
N <sub>285</sub> P <sub>115</sub> K <sub>145</sub> + Rastvorin	122.6	104.4	85.1	143.1	123.9	86.6	149.1	130.9	87.8
Rastvorin + Energiya-M	82.1	68.2	83.0	99.6	84.0	84.3	104.9	89.4	85.2
N <sub>210</sub> P <sub>85</sub> K <sub>105</sub> + Rastvorin + Energiya-M	105.3	89.4	84.8	125.8	108.4	86.1	131.8	115.0	87.2
N <sub>250</sub> P <sub>100</sub> K <sub>125</sub> + Rastvorin + Energiya-M	120.8	103.4	85.6	142.1	123.4	86.8	148.8	130.7	87.8
N <sub>285</sub> P <sub>115</sub> K <sub>145</sub> + Rastvorin + Energiya-M	130.0	112.3	86.4	151.4	132.5	87.5	160.2	141.9	88.5
<b>LSD 05 (2011)</b>	3.94		<b>LSD 05 (2013)</b>	4.52		<b>LSD 05 (2015)</b>	4.12		
LSD 05 A	0.66		LSD 05 A	0.75		LSD 05 A	0.69		
LSD 05 B	0.80		LSD 05 B	0.92		LSD 05 B	0.84		
LSD 05 C	1.61		LSD 05 C	1.85		LSD 05 C	1.68		
LSD 05 AB	2.78		LSD 05 AB	3.20		LSD 05 AB	2.91		
LSD 05 AC	2.27		LSD 05 AC	2.61		LSD 05 AC	2.38		
LSD 05 BC	1.14		LSD 05 BC	1.30		LSD 05 BC	1.19		
LSD 05 ABC	0.80		LSD 05 ABC	0.92		LSD 05 ABC	0.84		
<b>LSD 05 (2012)</b>	4.40		<b>LSD 05 (2014)</b>	4.30		<b>LSD 05 (2016)</b>	4.41		
LSD 05 A	0.73		LSD 05 A	0.72		LSD 05 A	0.73		
LSD 05 B	0.90		LSD 05 B	0.88		LSD 05 B	0.90		
LSD 05 C	1.80		LSD 05 C	1.75		LSD 05 C	1.80		
LSD 05 AB	3.11		LSD 05 AB	3.04		LSD 05 AB	3.12		
LSD 05 AC	2.54		LSD 05 AC	2.48		LSD 05 AC	2.54		
LSD 05 BC	1.27		LSD 05 BC	1.24		LSD 05 BC	1.27		
LSD 05 ABC	0.90		LSD 05 ABC	0.88		LSD 05 ABC	0.90		

## Conclusions

In order to obtain high-quality and guaranteed tomato harvests under conditions of unstable moistening of the Lower Volga region in the subzone of light chestnut soils, we recommend applying a differential irrigation regime depending on tomato growth stages (for middle-late varieties): from seedlings to flowering — not less than 70% FC, from beginning of flowering to beginning of fruit formation — 80% FC, from beginning of fruit formation to the last harvesting — not less than 75% FC. Agro-ecological assessment of varieties and hybrids of the studied tomato plants of Russian and foreign breeding allows us to recommend a medium-late tomato variety Gerkules bred at the Crimean experimental-breeding station of Vavilov Institute of Plant Genetic Resources for cultivation under drip irrigation. Under differentiated irrigation regime, the optimal fertilizing was the integrated use of the estimated doses of mineral, water-soluble fertilizers and growth regulators (doses recommended in the pesticides and agrochemicals reference book) throughout the growing season, so,  $N_{285}P_{115}K_{145}$  + Rastvorin + Energiya-M was effective for tomato with the planned 150 t/ha yield.

## Введение

Овощеводство — одна из основных отраслей АПК, обеспечивающая круглогодично население витаминами С, В, В<sub>2</sub>, А, Н, В<sub>9</sub>, пектиновыми, ценными минеральными, а также питательными и другими веществами, которые определяют здоровое питание человека [1—3].

В Российской Федерации основные площади, занятые овощными культурами, в т.ч. томатами, находятся в южных регионах. Нижнее Поволжье принято считать «всероссийским огородом». Регион располагает благоприятными природно-климатическими условиями для развития овощеводства и в результате занимает лидирующее место в стране по производству овощей. Орошение здесь определяет судьбу этой отрасли, так как орошаемое земледелие, занимая 53% площади пашни, дает 90% всей валовой продукции [4]. Производство овощей в данном регионе находится на стабильно высоких отметках — сборы овощей открытого грунта в промышленном секторе овощеводства составили в 2016 г. 531,3 тыс. т — 11,6% от общих сборов по РФ, это второе место среди регионов России. Второе место принадлежит овощным культурам и по посевным площадям — 15,6 тыс. га, что составляет 8,3% от всех площадей [5].

Томаты являются одним из наиболее ценных в питательном отношении овощем. Плоды томатов содержат сахара, кислоты, ароматические вещества, а также большое количество витаминов. Высокие вкусовые, питательные и диетические качества, а также разнообразные способы приготовления сделали томаты популярным овощем [3, 6].

В настоящее время производство овощей открытого грунта ведется в основном без применения капельного орошения, учета степени адаптивности сортов и гибридов к климатическим условиям [7—9].



Высокие урожаи в сочетании с высоким качеством плодов являются общим требованием производителей томата, и это может быть достигнуто только при учете критических производственных факторов. К ним относятся надлежащее управление ирригацией, выбор сортов, профилактика заболеваний, плодородие почв, климат и т.д. Многие авторы установили, что соблюдение агротехнологических приемов при ключевой роли питания определяет качество и урожайность томатов [10—17].

В связи с этим изучение ресурсосберегающих приемов увеличения урожайности овощных культур, в т.ч. микроорошения, водорастворимых удобрений и стимуляторов роста, видится нам актуальным.

**Цель исследований** — рационализировать технологические приемы для получения урожайности 150 и более т/га высококачественной овощной продукции в соответствии со складывающимися природно-климатическими условиями Нижнего Поволжья.

### Материалы и методы

Исследования в опыте осуществлялись согласно «Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве» [18], «Методика полевого опыта» [19—20], «Агрофизические и агрохимические методы исследования почв» [21].

Опыт закладывался методом расщепленных делянок. Расположение делянок по сортам и гибридам — систематическое, по питательным режимам — рендомизированное. Учетная площадь делянок первого порядка (по водному режиму) составляла 295 м<sup>2</sup>, делянок второго порядка (по сортам и гибридам) — 100 м<sup>2</sup>, делянок третьего порядка (по питательным режимам) — 7,5 м<sup>2</sup>. Повторность опыта — трехкратная. Схема посева семян томата 0,50 + 0,90 м.

*Фактор А* — агроэкологическая оценка сортов и гибридов отечественной и зарубежной селекции. Объектами исследования культуры томата изучались следующие сорта и гибриды: Волгоградский 5/95 (сорт-стандарт), гибрид Фоккер F<sub>1</sub>, сорт Геркулес.

*Фактор В* — научное обоснование управлением продуктивностью планируемых уровней урожайности томата: 110, 130, 150 т/га. Варианты опытов:

- 1) контроль;
- 2) обработка регулятором роста Энергия-М;
- 3) внесение минеральных удобрений под урожайность 110 т/га: N — 210 кг/га д.в.; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 85, K<sub>2</sub>O — 105 кг/га д.в.;
- 4) внесение минеральных удобрений под урожайность 130 т/га: N — 250 кг/га д.в.; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 100, K<sub>2</sub>O — 125 кг/га д.в.;
- 5) внесение минеральных удобрений под урожайность 150 т/га: N — 285 кг/га д.в.; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 115, K<sub>2</sub>O — 145 кг/га д.в.;
- 6) внесение водорастворимого удобрения Растворин;
- 7) комплексная обработка водорастворимым удобрением и регулятором роста Энергия-М;
- 8) комплексная обработка минеральными, водорастворимым удобрениями и регулятором роста Энергия-М под урожайность 110 т/га;

9) комплексная обработка минеральными, водорастворимым удобрениями и регулятором роста Энергия-М под урожайность 130 т/га;

10) комплексная обработка минеральными, водорастворимым удобрениями и регулятором роста Энергия-М под урожайность 150 т/га.

*Фактор С* — влияние режимов орошения на продуктивность томата:

1) поддержание предполивного порога влажности на уровне 75...75...75% НВ (постоянный режим орошения);

2) поддержание предполивного порога влажности на уровне 70...80...75% НВ (дифференцированный режим орошения): посев — цветение — 70% НВ; цветение — молочная спелость — 80% НВ; молочная спелость — полная спелость — 75% НВ.

В качестве минеральных удобрений исследовали аммиачную селитру, двойной суперфосфат и хлористый калий. Для полива на опытном участке была смонтирована система капельного орошения конструкции «Неодрип» в комплекте с капельными трубопроводами с водовыпусками через каждые 0,3 м и производительностью капельниц 1,55 л/ч. Поливные трубопроводы системы капельного орошения укладывали одновременно во время посева культур.

Первая подкормка выполнялась при появлении 5...7 листовых пластин, разводили 10...15 г удобрения Растворин на 10 л воды. В период плодоношения применяли раствор концентрацией 25 г на 10 л воды. Опрыскивание проводили этим раствором через 7...10 сут. Наличие нескольких марок позволяло комбинировать подкормки в зависимости от фазы развития растений. Схема обработки регулятором роста Энергия-М включала: 1) замачивание семян (1 мл / 1 кг семян) в течение 30...40 мин с расходом рабочего раствора 2 л/кг; 2) последующие опрыскивания (15 г/га) и некорневые подкормки (на площади 1 га в дозе 15 г на 300 г воды) в начальный период роста, в фазу бутонизация — начала цветения.

### Результаты и обсуждение исследований

Исследования были проведены в 2011—2016 гг. в хозяйстве ИП Зайцева В.А., Городищенском районе Волгоградской области. Гранулометрический состав исследуемых почв на 80% территории тяжелосуглинистый и отличался невысоким (2,31%) содержанием гумуса в пахотном горизонте, а на глубине 0,4...1,0 м его количество снижалось с 1,05 до 0,32%. Бедность этой почвы гумусом объясняется тем, что процессы превращения органических веществ в зоне каштановых почв имеют специфический зональный характер. В прямой зависимости от гранулометрического состава находятся водно-физические свойства почв. Плотность сложения варьировала по горизонтам, наименьшая была отмечена в слое 0,0...0,1 м — 1,24 т/м<sup>3</sup>. С дальнейшим углублением этот показатель увеличивался в исследуемом слое почвы 0,0...0,6 м — до 1,35 т/м<sup>3</sup>, в слое 0,0...1,0 м — до 1,45 т/м<sup>3</sup>. Наибольшая плотность сложения была отмечена на глубине 1 м и составляла 1,62 т/м<sup>3</sup>. Общая порозность пахотного слоя почвы варьировала от 50,4 до 47,5%. Наименьшая влагоемкость колебалась от 25,60% в слое 0,0...0,1 м до 22,82% в слое 0,0...0,6 м. Наименьшая влагоемкость составляла 20,4%, влажность завядания — 8,49% в среднем для слоя 0,0...1,0 м; рН почвенного раствора — 6,8...8,0. Обеспе-

ченность почвы опытного участка гидролизуемым азотом (по Корнфильду [22—23]) — низкая (менее 100 мг/кг почвы), подвижным фосфором (по Мачигину [24]) от низкой до средней (16...30 мг/кг почвы), обменным калием (по Мачигину [24]) — повышенная и высокая (300...500 мг/кг).

В наших опытах в посевах томата повышение оросительной нормы при дифференцированном режиме орошения складывалось за счет различной поливной нормы и распределения сроков проведения поливов по фазам роста и развития. При постоянном режиме орошения поливная норма была стабильной по всем межфазным периодам и находилась в пределах 163 м<sup>3</sup>/га. При дифференцированном режиме орошения происходило перераспределение поливной нормы по фазам вегетации: в фазу посев — цветение — 199 м<sup>3</sup>/га общим количеством поливов в этот период в среднем по годам — 8, что меньше на 3 полива по сравнению с постоянным режимом орошения. В фазу цветение — плодообразование — молочная спелость при постоянном режиме орошения было проведено 10 поливов нормой 163 м<sup>3</sup>/га, при дифференцированном — на 6 поливов больше поливной нормой 127 м<sup>3</sup>/га. В межфазный период молочная спелость — полная спелость при обоих режимах орошения полив проводился поливной нормой 163 м<sup>3</sup>/га с одинаковым количеством поливов — 7 в среднем по годам закладки опыта.

Наиболее была заметна по годам исследований дифференциация параметров поливного режима в отдельные фазы роста и развития томатов. Так в острозасушливые годы требовалось наибольшее количество поливов по всем межфазным периодам и режимам орошения: при постоянном режиме орошения в 2012 г. — 28, в 2014 г. — 30, при дифференцированном режиме — 27 и 30 соответственно по годам. Оросительная норма в этот период исследований была наибольшей и составила при постоянном режиме орошения в 2012 г. — 5542 м<sup>3</sup>/га, в 2014 г. — 5868 м<sup>3</sup>/га, при дифференцированном режиме — 5906 и 6268 м<sup>3</sup>/га соответственно по годам. В наиболее благоприятном по гидротермическим показателям 2016 г. было проведено 15 поливов наименьшей оросительной нормой при постоянном поддержании влажности почвы 75% — 2934 м<sup>3</sup>/га, при дифференцированном — 3207 м<sup>3</sup>/га. Однако, в течение вегетации наблюдались различия в межфазный период посев — цветение: при постоянном режиме орошения — 5, при дифференцированном — на 1 полив меньше. Существенные различия наблюдались в фазу цветение — плодообразование — молочная спелость: при постоянном режиме орошения было проведено 6 поливов нормой 163 м<sup>3</sup>/га, при дифференцированном — на 4 полива больше поливной нормой 127 м<sup>3</sup>/га. В среднем за 2011—2016 гг. при постоянном режиме орошения было проведено 23 полива оросительной нормой 4483 м<sup>3</sup>/га, при дифференцированном — 22 полива оросительной нормой 4804 м<sup>3</sup>/га. Во всех вариантах основной приходной статьей водного баланса посевов томатов являлась оросительная норма.

При этом в разные годы, в зависимости от складывающихся погодных условий, на долю воды за счет поливов приходилось при постоянном режиме орошения от 44,95 до 85,98%, при дифференцированном — от 47,29 до 86,83% от общего водопотребления. В острозасушливых расход поливной воды по вариантам опыта варьировал в пределах от 79,19 до 80,32% (2012 г.), от 85,98 до 86,83% (2014 г.)

общего расхода воды овощными растениями, соответственно при поддержании постоянного и дифференцированного режимов орошения. Несколько отличной была структура водопотребления в самом влажном 2016 г., когда приход влаги в виде оросительной воды при постоянном режиме орошения составил 44,95%, при дифференцированном — 47,29% от общего ее расхода.

В наших опытах суммарное водопотребление в течение всего периода вегетации в среднем за годы исследований составило при постоянном режиме орошения — 6301,3 мм, при дифференцированном — 6609,5 мм, из них за счет поливов 71,0 и 72,4% соответственно по режимам орошения. Таким образом, с повышением предполивной влажности почвы увеличивается оросительная норма и доля участия оросительной воды в суммарном водопотреблении.

Проведенные учеты показали, что меньшее количество плодов томата и менее значительный их средний вес были установлены на растениях, выращенных без удобрений на контрольных вариантах по всем режимам орошения.

Что касается вариантов с различным соотношением NPK на планируемую урожайность томатов 110, 130, 150 т/га, то количество сформировавшихся плодов на одном кусте было при дифференцированном режиме орошения по всем вариантам опыта выше, чем при постоянном режиме.

Комплексная обработка растений томатов минеральными удобрениями + Растворин + Энергия-М способствовала увеличению количества плодов на кусте при постоянном режиме орошения по сорту Геркулес до 19,4...20,7 шт. при среднем их весе 102...107 г., на гибриде Фоккер F<sub>1</sub> сформировалось наибольшее количество плодов — 21,0...22,6 шт., но наименьшей средней массой — 92...98 г, в то время, как на сорте-стандарте Волгоградский 5/95 — 17,7...18,7 шт. массой 101...106 г. Дифференциация поливных норм повышала количество плодов по сорту Геркулес до 20,2...21,8 шт. при среднем их весе 107...112 г, на гибриде Фоккер F<sub>1</sub> сформировалось большее количество плодов — 22,7...24,1 шт. массой 94...101 г, что выше показателей на сорте-стандарте на 1,3...1,6 и 3,8...3,9 шт., при этом их масса составляла 103...110 г.

На культуре томат на всех исследуемых сортах и гибриде (Волгоградский 5/95, Фоккер F<sub>1</sub> и Геркулес) для получения планируемой продуктивности в 110, 130, 150 т/га необходимо создавать дифференцированный режим орошения, что давало возможность получать прибавку урожайности до 18,8 т/га (на планируемую урожайность 130 т/га) и до 10,2 т/га (на планируемую урожайность 150 т/га) в вариантах NPK + Растворин + Энергия-М (табл.).

При установлении качественных характеристик плодов томата нами было выявлено, что наиболее интенсивному накоплению сухих веществ в плодах томата способствовало внесение самых высоких доз удобрений в комплексе с Растворином и регулятором роста при дифференцированном режиме орошения. Прибавка сухих веществ на этом варианте по сравнению с постоянным режимом орошения составила на сорте-стандарте Волгоградский 5/95 0,2%, на гибриде Фоккер F<sub>1</sub> и на сорте Геркулес — 0,6%. Проведенные опыты показали, что содержание органических кислот в плодах томатов незначительно варьировало в зависимости от видов, доз удобрений и условий увлажнения.

Таблица

## Эффективность исследуемых агроприемов в посевах томата, среднее за 2011—2016 гг.

Вариант опыта	Волгоградский 5/95			Фоккер F1			Геркулес		
	Урожайность, т/га		Товарность плодов, %	Урожайность, т/га		Товарность плодов, %	Урожайность, т/га		Товарность плодов, %
	общая	товарная		общая	товарная		общая	товарная	
75...75...75% НВ									
Контроль	56.5	42.7	75.5	70.9	54.3	76.5	74.5	58.1	77.9
Энергия-М	68.8	54.9	79.6	84.5	68.6	81.1	88.4	72.7	82.2
$N_{210} P_{85} K_{105}$	82.6	67.7	81.9	99.7	82.7	82.9	106.6	89.6	84.0
$N_{250} P_{100} K_{125}$	91.7	75.8	82.6	110.3	92.3	83.6	117.2	99.3	84.7
$N_{285} P_{115} K_{145}$	99.8	83.1	83.2	119.1	100.3	84.2	126.3	108.0	85.5
Растворин	73.9	59.3	80.1	89.9	73.1	81.3	94.4	78.0	82.6
$N_{210} P_{85} K_{105}$ + Растворин	92.4	76.5	82.7	110.1	92.2	83.7	116.7	98.9	84.7
$N_{250} P_{100} K_{125}$ + Растворин	108.2	90.3	83.4	127.6	107.6	84.3	133.9	114.6	85.6
$N_{285} P_{115} K_{145}$ + Растворин	115.4	97.0	84.0	136.4	115.9	85.0	142.1	122.5	86.2
Растворин + Энергия-М	77.4	63.0	81.3	95.3	79.1	83.0	100.3	84.0	83.8
$N_{210} P_{85} K_{105}$ + Растворин + Энергия-М	99.0	82.9	83.7	119.4	100.9	84.4	125.8	107.9	85.7
$N_{250} P_{100} K_{125}$ + Растворин + Энергия-М	114.1	96.2	84.3	136.0	116.0	85.2	142.5	123.0	86.3
$N_{285} P_{115} K_{145}$ + Растворин + Энергия-М	123.2	104.7	84.9	145.1	124.5	85.8	153.9	133.7	86.8
70...80...75% НВ									
Контроль	61.1	46.9	76.7	75.2	58.5	77.7	78.8	62.0	78.7
Энергия-М	72.7	59.0	81.2	88.8	73.1	82.3	92.2	77.0	83.4
$N_{210} P_{85} K_{105}$	88.1	73.1	83.0	105.0	88.8	84.6	112.0	95.7	85.4
$N_{250} P_{100} K_{125}$	98.3	82.5	83.8	116.3	99.3	85.3	124.0	107.0	86.3
$N_{285} P_{115} K_{145}$	106.4	89.9	84.5	124.9	107.4	86.0	133.4	116.1	87.0
Растворин	78.3	64.0	81.6	94.8	78.5	82.8	99.1	82.9	83.6
$N_{210} P_{85} K_{105}$ + Растворин	98.5	82.7	83.9	116.4	99.4	85.4	122.4	105.9	86.4
$N_{250} P_{100} K_{125}$ + Растворин	115.2	97.5	84.6	134.1	115.6	86.1	140.2	122.3	87.2
$N_{285} P_{115} K_{145}$ + Растворин	122.6	104.4	85.1	143.1	123.9	86.6	149.1	130.9	87.8
Растворин + Энергия-М	82.1	68.2	83.0	99.6	84.0	84.3	104.9	89.4	85.2
$N_{210} P_{85} K_{105}$ + Растворин + Энергия-М	105.3	89.4	84.8	125.8	108.4	86.1	131.8	115.0	87.2
$N_{250} P_{100} K_{125}$ + Растворин + Энергия-М	120.8	103.4	85.6	142.1	123.4	86.8	148.8	130.7	87.8
$N_{285} P_{115} K_{145}$ + Растворин + Энергия-М	130.0	112.3	86.4	151.4	132.5	87.5	160.2	141.9	88.5
<b>НСР 05 (2011)</b>	3.94		<b>НСР 05 (2013)</b>	4.52		<b>НСР 05 (2015)</b>	4.12		
НСР 05 А	0.66		НСР 05 А	0.75		НСР 05 А	0.69		
НСР 05 В	0.80		НСР 05 В	0.92		НСР 05 В	0.84		
НСР 05 С	1.61		НСР 05 С	1.85		НСР 05 С	1.68		
НСР 05 АВ	2.78		НСР 05 АВ	3.20		НСР 05 АВ	2.91		
НСР 05 АС	2.27		НСР 05 АС	2.61		НСР 05 АС	2.38		
НСР 05 ВС	1.14		НСР 05 ВС	1.30		НСР 05 ВС	1.19		
НСР 05 АВС	0.80		НСР 05 АВС	0.92		НСР 05 АВС	0.84		
<b>НСР 05 (2012)</b>	4.40		<b>НСР 05 (2014)</b>	4.30		<b>НСР 05 (2016)</b>	4.41		
НСР 05 А	0.73		НСР 05 А	0.72		НСР 05 А	0.73		
НСР 05 В	0.90		НСР 05 В	0.88		НСР 05 В	0.90		
НСР 05 С	1.80		НСР 05 С	1.75		НСР 05 С	1.80		
НСР 05 АВ	3.11		НСР 05 АВ	3.04		НСР 05 АВ	3.12		
НСР 05 АС	2.54		НСР 05 АС	2.48		НСР 05 АС	2.54		
НСР 05 ВС	1.27		НСР 05 ВС	1.24		НСР 05 ВС	1.27		
НСР 05 АВС	0.90		НСР 05 АВС	0.88		НСР 05 АВС	0.90		

Наиболее низкое содержание аскорбиновой кислоты (0,53...0,56% — при постоянном режиме орошения; 0,56% — при дифференцированном режиме орошения) было отмечено у плодов с неудобренных участков, соответственно по сортам и гибридам. На всех вариантах, где вносилось минеральное удобрение под планируемые уровни урожайности 110, 130, 150 т/га, кислотность плодов была в пределах 0,61...0,64% на сорте-стандарте Волгоградский 5/95 при постоянном режиме орошения, 0,63...0,65% — при дифференциации поливной воды по периодам роста.

В силу своих биологических особенностей гибрид Фоккер F<sub>1</sub> и сорт Геркулес накапливали меньшее количество кислоты в плодах — 0,57...0,60% при постоянном режиме орошения. При дифференцированном режиме на гибриде Фоккер F<sub>1</sub> происходило снижение уровня кислоты до 0,61...0,64%, относительно варианта Волгоградский 5/95, а на сорте Геркулес — увеличение до 0,66% при внесении удобрений на планируемую урожайность 150 т/га. Таким образом, усиленный водный и питательный режим почвы оказывал положительное влияние на повышение урожайности с улучшением биохимического состава плодов.

Для производителя наиболее экономически оправданным являлось возделывание томата сорта Геркулес на фоне N<sub>285</sub>P<sub>115</sub>K<sub>145</sub> + Растворин+Энергия-М. По вариантам достигалась окупаемость производственных затрат в сумме 6,87 рублей дохода.

### Выводы

С целью получения высококачественных и гарантированных урожаев томата в условиях неустойчивого увлажнения Нижнего Поволжья в подзоне светло-каштановых почв рекомендуем применять различный режим орошения по фазам вегетации томата (для среднепоздних) — от всходов до цветения — не ниже 70% НВ, от начала цветения до начала плодообразования — 80% НВ, от начала плодоношения до последней уборки — не ниже 75% НВ. Агроэкологическая оценка сортов и гибридов исследуемой культуры отечественной и зарубежной селекции для выращивания в условиях капельного орошения позволяет рекомендовать среднепоздний сорт томата Геркулес, выведенный на Крымской опытно-селекционной станции Всероссийского НИИ растениеводства. При дифференцированном режиме орошения оптимальным питательным режимом является комплексное применение в течение всей вегетации расчетных доз на планируемую урожайность минеральных, водорастворимых удобрений и росторегуляторов (дозы, рекомендуемые по справочнику пестицидов и агрохимикатов) по культуре томат на планируемую урожайность 150 т/га — N<sub>285</sub>P<sub>115</sub>K<sub>145</sub> + Растворин + Энергия-М.

### References

1. Soldatenko AV, Razin AF, Pivovarov VF, Shatilov MV, Ivanova MI, Rossinskaya OV, Razin OA. Vegetables in the system of ensuring food security of Russia. *Vegetable crops of Russia*. 2019; (2): 9—15. (In Russ). doi: 10.18619/2072-9146-2019-2-9-15
2. Enujeke EC, Emuh FN. Evaluation of some growth and yield indices of five varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in Asaba Area of Delta State, Nigeria. *Global Journal of Bio-Science and Biotechnology*. 2015; 4(1):21—26.

3. Bolkunov AI. Chemical composition and nutritional value of onions. In: *Prioritetnye napravleniya razvitiya sovremennoi nauki molodykh uchenykh agrariyev: Conference proceeding*. Solenoe Zaimishche: Caspian Research Institute of Arid Agriculture Publ.; 2016. p. 257—301. (In Russ).
4. Gish RA, Gikalo GS. *Ovoshchevodstvo yuga Rossii* [Vegetable growing in the south of Russia]. Krasnodar: EDVI Publ.; 2012. (In Russ).
5. Federal service of state statistics. *Itogi Vserossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi perepisi 2016 goda. Zemel'nye resursy i ikh ispol'zovanie* [Results of the 2016 Russian Agricultural Census. Land resources and their use]. 3rd ed. Moscow: Statistika Rossii Publ.; 2018. (In Russ).
6. Kalmykova EV, Pleskachev YN, Kalmykova OV, Zvolinsky VP. Influence of macro- and micro-fertilizers for quality of tomato fruits. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2019; (1):32—41. (In Russ). doi: 10.32786/2071-9485-2019-01-3
7. Tyutyuma NV, Solodovnikov AP, Mukhortova TV, Kudryashova NI. Determination of the optimum mode of irrigation and the level of mineral nutrition of hybrids of tomatoes of Russian breeding in the conditions of the north of the Astrakhan region. *The Agrarian scientific journal*. 2017; (8):32—38. (In Russ).
8. Petrov NY, Kalmykova EV, Ubushaeva SV, Batyrov VA. Influence of agrotechnic means on growth, development and productivity of tomato under the conditions of the Lower Volga region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2017;(2):118—125. (In Russ).
9. Soldatenko AV, Pivovarov VF, Razin AF, Shatilov MV, Razin OA, Rossinskaya OV, Bashkirov OV. Problems of production of competitive vegetable products. *Vegetable crops of Russia*. 2019; (1):3—7. (In Russ). doi: 10.18619/2072-9146-2019-1-3-7
10. Kurbanov SA, Magomedova DS, Dzhambulatova AZ. Tomatoes irrigation methods on meadow chestnut soils in the Republic of Dagestan. *Scientific Life*. 2019; (2):6—13. (In Russ).
11. Chauhan SA, Patel NB, Mehta DR, Patel JB, Zalaishita M, Vaja AD. Effect of plant growth regulators on seed yield and its parameters of tomato (*Lycopersicon esculentum* L). *International Journal of Agriculture Sciences*. 2017; 9(8):3906—3909.
12. Akand MH, Mazed HEMK, Islam MA, Pulok MAI, Chowdhury MHN, Moonmoon JF. Growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as influenced by different level of gibberellic acid application. *Int J of Appl Res*. 2015; 1(3):71—74.
13. Bairambekov SB, Korneva OG, Polyakova EV, Gulyaeva GV, Sokolov AS. Agricultural and chemical methods of weeds control in the vegetable crop rotation link. *Ecology, Environment and Conservation*. 2017; 23(3):1684—1690.
14. Sokolov AS, Bayrambekov SB, Sokolova GF. Influence of soil dressing, fertilizers, herbicides upon pollution and yeilds of vegetable cultures in sawing turnover. *Advances in current natural sciences*. 2018; (8):78—84. (In Russ).
15. Komarov VN, Kiseleva NN, Vorontsova AI. The use of technological methods of tomato cultivation under drip irrigation. In: *Melioratsiya i problemy vosstanovleniya sel'skogo khozyaistva v Rossii: Conference proceeding*. Moscow: Pryanishnikov Russian Research Institute of Agrochemistry Publ.; 2013. p. 163—166. (In Russ).
16. Gaplaev MS. Development of vegetable growing in Chechen Republic: state and prospects. *Potato and vegetables*. 2015; (8):2. (In Russ).
17. Gerszberg A, Katarzyna HK, Kowalczyk T, Kononowicz AK. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 2015; 120(3):881—902. doi: 10.1007/s11240-014-0664-4
18. Belik VF. (ed.) *Metodika opytного dela v ovoshchevodstve i bakhchevodstve* [Methodology of experimental work in vegetable and melon growing]. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1992. (In Russ).

19. Dospikhov BA. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. Moscow: Al'yans Publ.; 2011. (In Russ).
20. Druzhkin AF, Lyashenko ZD, Panina MA. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii. Chast' 2.* [Fundamentals of scientific research in agronomy. Part 2]. Saratov: Biometriya Publ.; 2009. (In Russ).
21. Terpelets VI, Slyusarev VN. *Agrofizicheskie i agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrophysical and agrochemical methods of soil research]. Krasnodar: KubSAU Publ.; 2016. (In Russ).
22. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart). GOST 26107—84. *Metody opredeleniya obshchego azota* [Methods for determination of total nitrogen]. Moscow; 1984. (In Russ).
23. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu shchelochnogidrolizuemogo azota v pochve po metodu Kornfilda* [Guidelines for determination of alkaline hydrolyzable nitrogen in soil by Kornfield method]. Moscow: Ministry of Agriculture of the USSR Publ.; 1985. (In Russ).
24. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology (Rosstandart). GOST 26205—91. *Pochvy. Opredelenie podvizhnykh form fosfora i kaliya po metodu Machigina v modifikatsii TsINAO* [The soil. Determination of mobile forms of phosphorus and potassium according to Machigin method in the modification of TsINAO]. Moscow; 1991. (In Russ).

### Библиографический список

1. Солдатенко А.В., Разин А.Ф., Пивоваров В.Ф., Шатилов М.В., Иванова М.И., Россинская О.В., Разин О.А. Овощи в системе обеспечения продовольственной безопасности России // Овощи России. 2019. № 2. С. 9—15. doi: 10.18619/2072-9146-2019-2-9-15
2. Enujike E.C., Eruh F.N. Evaluation of some growth and yield indices of five varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in Asaba Area of Delta State, Nigeria // Global Journal of Bio-Science and Biotechnology. 2015. Vol. 4. № 1. P. 21—26.
3. Болкунов А.И. Химический состав и пищевая ценность лука репчатого // Приоритетные направления развития современной науки молодых ученых аграриев. 2016. С. 257—301.
4. Гиш Р.А., Гикало Г.С. Овощеводство юга России. Краснодар: ЭДВИ, 2012. 632 с.
5. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года. Земельные ресурсы и их использование / Федеральная служба гос. статистики. М.: НИЦ «Статистика России», 2018. Т. 3. 307 с.
6. Калмыкова Е.В., Плескачев Ю.Н., Калмыкова О.В., Зволинский В.П. Влияние макро- и микроудобрений на качество плодов томата // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 1. С. 32—41. doi: 10.32786/2071-9485-2019-01-3
7. Тютюма Н.В., Солодовников А.П., Мухортова Т.В., Кудряшова Н.И. Определение оптимального режима орошения и уровня минерального питания гибридов томатов российской селекции в условиях севера Астраханской области // Аграрный научный журнал. 2017. № 8. С. 32—38.
8. Петров Н.Ю., Калмыкова Е.В., Убушаева С.В., Батыров В.А. Влияние агротехнических приемов на рост, развитие и продуктивность томата в условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 2 (46). С. 118—125.
9. Солдатенко А.В., Пивоваров В.Ф., Разин А.Ф., Шатилов М.В., Разин О.А., Россинская О.В., Башикиров О.В. Проблемы производства конкурентной овощной продукции // Овощи России. 2019. № 1. С. 3—7. doi: 10.18619/2072-9146-2019-1-3-7
10. Курбанов С.А., Магомедова Д.С., Джамбулатова А.З. Способы орошения томатов на лугово-каштановых почвах Республики Дагестана // Научная жизнь. 2019. № 2. С. 6—13.



11. Chauhan S.A., Patel N.B., Mehta D.R., Patel J. B., Zalaishita M., Vaja A.D. Effect of plant growth regulators on seed yield and its parameters of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) // *Int. J. of Agric. Sci.* 2017. Vol. 9. № 8. P. 3906—3909.
12. Akand M.H., Mazed H.E.M.K., Islam M.A., Pulok M.A.I., Chowdhury M.H.N., Moonmoon J.F. Growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) As influenced by different level of gibberellic acid application // *Int. J. of Appl. Res.* 2015. Vol. 1. № 3. P. 71—74.
13. Bairambekov Sh.B., Korneva O.G., Polyakova E.V., Gulyaeva G.V., Sokolov A.S. Agrotechnical and chemical methods of weeds control in the vegetable crop rotation link // *Ecology, Environment and Conservation*. Vol. 23 № 3. 2017. P. 1684—1690.
14. Соколов А.С., Байрамбеков Ш.Б., Соколова Г.Ф. Влияние обработки почвы удобрений, гербицидов на засоренность и урожайность овощных культур в севообороте // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 8. С. 78—84.
15. Комаров В.Н., Киселева Н.Н., Воронцова А.И. Применение технологических приемов возделывания томата при капельном орошении // *Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России*. 2013. С. 163—166.
16. Ганлаев М.Ш. Состояние и перспективы развития овощеводства в Чеченской Республике // *Картофель и овощи*. 2015. № 8. С. 2.
17. Gerszberg A., Katarzyna H.K., Kowalczyk T., Kononowicz A.K. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology // *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2015. Vol. 120. № 3. P. 881—902. doi: 10.1007/s11240-014-0664-4
18. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве / под ред. В.Ф. Белика. М.: Агропромиздат, 1992. 319 с.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2011. 352 с.
20. Дружкин А.Ф., Ляшенко З.Д., Панина М.А. Основы научных исследований в агрономии. Часть 2: Биометрия. Саратов, 2009. 70 с.
21. Терпелец В.И., Слюсарев В.Н. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв. Краснодар: КубГАУ, 2016. 65 с.
22. ГОСТ 26107—84. Методы определения общего азота. М., 1984.
23. Методические указания по определению щелочногидролизующего азота в почве по методу Корнфилда. М.: МСХ СССР, 1985. 9 с.
24. ГОСТ 26205—91. Почвы. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М., 1991.

#### **About the authors:**

*Kalmykova Elena Vladimirovna* — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Department of Irrigation Reclamation, Laboratory for Modeling Irrigation Technologies, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9, Timiryazeva st., Volgograd, Russian Federation, 400002; e-mail: kalmykova.elena-1111@yandex.ru

*Novikov Aleksey Andreevich* — Candidate of Agricultural Sciences, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9, Timiryazeva st., Volgograd, Russian Federation, 400002; e-mail: novikov@riagro.ru

*Petrov Nikolay Yuryevich* — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Technology for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials and Public Food, Volgograd State Agrarian University, 26, Universitetsky Prospect, Volgograd, Russian Federation, 400002; e-mail: npetrov60@list.ru

*Kalmykova Olga Vladimirovna* — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Technology for Storage and Processing of Agricultural Raw Materials and Public Food, Volgograd State Agrarian University, 26, Universitetsky Prospect, Volgograd, Russian Federation, 400002; e-mail: lelya.kalm.90@mail.ru

**Об авторах:**

*Калмыкова Елена Владимировна* — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела оросительных мелиораций, лаборатории моделирования технологий орошения, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, 400002, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: kalmukova.elena-1111@yandex.ru

*Новиков Алексей Андреевич* — кандидат сельскохозяйственных наук, врио директора, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, 400002, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: novikov@riagro.ru

*Петров Николай Юрьевич* — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственного сырья и общественного питания, Волгоградский государственный аграрный университет, 400002, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26; e-mail: npetrov60@list.ru

*Калмыкова Ольга Владимировна* — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственного сырья и общественного питания, Волгоградский государственный аграрный университет, 400002, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26; e-mail: lelya.kalm.90@mail.ru



DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-347-361  
УДК: 635.64.042:631.82

Research article

## Tomato fertigation in an open ground

Omariy G. Chamurliiev<sup>1</sup>, Aleksandr N. Sidorov<sup>1</sup>, Anatoly A. Kholod<sup>1</sup>,  
Georgy O. Chamurliiev<sup>2</sup>, Natalya V. Bogomolova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Volgograd State Agricultural University, *Volgograd, Russian Federation*

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia, *Moscow, Russian Federation*

\*Correspondent author: [giorgostsamourlidis@mail.ru](mailto:giorgostsamourlidis@mail.ru)

**Abstract.** Obtaining high and stable yields of tomato with good consumer qualities in the open field has now become problematic due to the fact that hybrids and varieties of tomato of an intensive type place high demands on the presence of moisture and nutrients in the root-soil layer. The required level of soil moisture in combination with the introduction of calculated doses of mineral fertilizers during the growing season provides for obtaining the planned yields of vegetables, including tomato. The most important resource for the further development of agriculture in the Russian Federation is irrigated land. Volgograd region is one of the largest irrigated agricultural regions in Russia. Growing of almost all vegetables in the region is conducted on irrigated lands. The use of only one irrigation without the use of fertilizers will not have a positive impact on the growth, development and productivity of plants. Fertigation is the most effective and economical way of delivering nutrients to the plant root system and allows to get a higher yields than other methods of fertilizer application. In fertigation systems, the control of optimal concentrations of fertilizers is easily achieved, their ratio and these parameters can be controlled automatically. The purpose of this work was to study the comparative efficiency of ammonium nitrate, calcium nitrate and a combination of calcium nitrate and ammonium chloride for tomato fertigation in combination with non-root dressings of complex water-soluble fertilizers containing macro- and microelements in open field on irrigated light chestnut soil of dry steppe zone of chestnut soils in the Volgograd region. As a result, analysis of the use of mineral fertilizers for tomato fertigation in light chestnut soils of the Volgograd region was carried out. The positive effect of foliar dressing with microelements in the proposed dosages has been proven.

**Key words:** irrigation, open field, soil moistening, planned crop, plant productivity, saltpeter, dry steppe zone, tomato, fertigation, foliar application

### Article history:

Received: 25 March 2019. Accepted: 30 September 2019.

### For citation:

Chamurliiev OG, Sidorov AN, Kholod AA, Chamurliiev GO, Bogomolova NV. Tomato fertigation in an open ground. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):347–361. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-347-361

© Чамурлиев О.Г., Сидоров А.Н., Холод А.А., Чамурлиев Г.О., Богомолова Н.В., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Фертигация томата в открытом грунте

О.Г. Чамурлиев<sup>1</sup>, А.Н. Сидоров<sup>1</sup>, А.А. Холод<sup>1</sup>,  
Г.О. Чамурлиев<sup>2\*</sup>, Н.В. Богомолова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный аграрный университет,  
г. Волгоград, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов,  
г. Москва, Российская Федерация

\*giorgostsamourlidis@mail.ru

**Аннотация.** Современные сорта и гибриды возделываемые в открытом грунте очень требовательны к наличию влаги и питательных веществ в почве.

Исследовано применение фергетации для повышения устойчивости томатов на орошаемых землях.

Изучена сравнительная эффективность использования аммиачной селитры, кальциевой селитры (нитрата кальция) и комбинации кальциевой селитры и хлорида аммония для фертигации томата в сочетании с некорневыми подкормками комплексными водорастворимыми удобрениями, содержащими макро- и микроэлементы, в открытом грунте на орошаемой светло-каштановой почве сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области.

Проведен анализ использования минеральных удобрений для фертигации томата в условиях светло-каштановых почв Волгоградской области. Доказано положительное влияние листовых подкормок микроэлементами в предложенных дозировках.

**Ключевые слова:** орошение, открытый грунт, увлажнение почвы, планируемый урожай, продуктивность растений, селитра, сухостепная зона, томат, фертигация, листовые подкормки, Волгоградская область

### История статьи:

Поступила в редакцию: 25 марта 2019 г. Принята к публикации: 30 сентября 2019 г.

### Для цитирования:

Чамурлиев О.Г., Сидоров А.Н., Холод А.А., Чамурлиев Г.О., Богомолова Н.В. Фертигация томата в открытом грунте // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 347—361. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-347-361

## Introduction

Tomato is one of the most popular vegetables, required by the population of the Russian Federation in a fresh form. Under favourable import conditions of the last 20 years, as well as growth of greenhouse production, fresh tomato fruits became more affordable in the off-seasonal period [1, 2].

However, obtaining high and stable tomato yields having good consumer qualities in an open feild has now become problematic as tomato hybrids and varieties and of intensive type require increased moisture and nutrient level in root layer of soil. The difficulty is that weak and underdeveloped root system of tomato seedlings have to grow a large vegetative mass in a short period of time which is possible only under optimal soil moisture and fertilizer conditions [3—5].

Irrigated cropland is the most important resource for further development of the rural economy of the Russian Federation. The Volgograd region is one of the largest regions of the country where irrigated agriculture is used. Practically, all vegetable cultivation in the region is carried out on irrigated lands [6—8].

In vegetable farms of the Volgograd region, great importance is attached to development of environmentally friendly technologies and technical means of irrigation including drip irrigation. This method allows to maintain a favorable water and air regime in soil without surface and soil runoff of irrigation water [9]. Moistening soil in combination with application of calculated doses of mineral fertilizers during the vegetative period ensures the planned yields in different vegetables including tomatoes. Based on maintaining ecological, economic, social balance and stability, one of the basic tasks of irrigated agriculture is to use every cubic meter of irrigation water most effectively. Furthermore, it is reasonable to use irrigated croplands for the most valuable, highly profitable crops, among which is tomato. Plant water consumption and mineral nutrition is closely interconnected [10].

Application of only one irrigation without fertilizers does not show a positive effect on plant growth, development and productivity.

Fertigation is the most effective and economical way to increase nutrient availability to plant root system and results in higher yields compared to other methods. Control of optimal fertilizer concentration is easily accessible by the use of fertigation systems, where the parameters can be controlled automatically.

A complete refusal from the use of mineral fertilizers will inevitably lead to catastrophic reduction in food production. Therefore, the most correct is improvement of fertilizer application technology, their introduction in optimal doses and appropriate storage. When fertilizer application is uneven, some plants have excess amount of nutrients, while others lack minerals. This leads to unequal plant development and ripening, decreased yields and quality. Fertigation is free from these disadvantages, since it allows to add nutrients to root layer of the soil in a predetermined calculated dosage in all growth periods and development of tomato plants. The technology of fertigation can be improved by tomato leaf dressings with mimineral fertilizers [13—15].

The goal of this work was to study comparative efficiency of ammonium nitrate, calcium nitrate and a combination of calcium nitrate and ammonium chloride for tomato fertigation in combination with non-root dressings of complex water-soluble fertilizers containing macro- and microelements in open field on irrigated lighchestnut soil of dry steppe zone of chestnut soils in the Volgograd region.

### **Materials and methods**

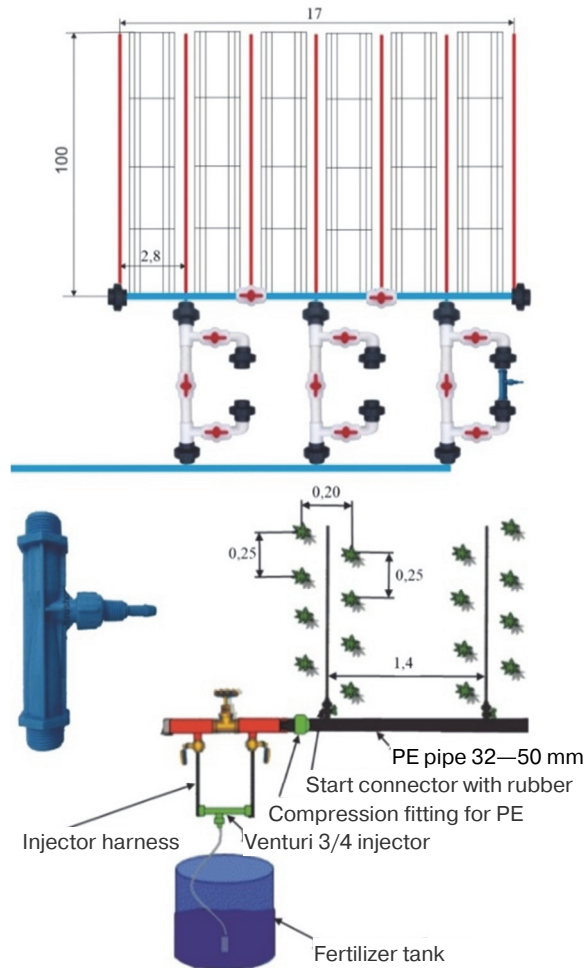
Field experiments were conducted on light-chestnut soils in Gornaya Polyana Training Scientific and Production Center (Volgograd State Agrarian University) in 2016—2017. Tomato fertigation in combination with various leaf dressings was studied.

The planting pattern is shown in Fig. 1. The number of planted plants per 1 ha was 28,000.

Table 1

**Variants of field experiments for studing fertigation and leaf dressing effect (Gornaya Polyana)**

№	Variant
1	Ammonium nitrate fertigation
2	Ammonium nitrate fertigation + NPK 18 : 18 : 18 leaf dressing + microelements in vegetative phase (0.6% solution, 300 l/ha) + NPK 10 : 5 : 40 foliar dressing + microelements in the flowering-fruiting stage (0.6% solution, 300 l/ha)
3	Calcium nitrate fertigation
4	Calcium nitrate fertigation + NPK 18 : 18 : 18 leaf dressing + microelements in vegetative phase (0.6% solution, 300 l/ha) + NPK 10 : 5 : 40 foliar dressing + microelements in the flowering-fruiting stage (0.6% solution, 300 l/ha)
5	Calcium nitrate fertigation before flowering-fruiting phase (1—4 fertigations) + calcium nitrate and potassium chloride fertigation from flowering-fruiting phase (12.7 kgCl/ha, 16.9 kg K <sub>2</sub> O) (5—6 fertigations)
6	Calcium nitrate fertigation before flowering-fruiting phase (1—4 fertigations) + calcium nitrate and potassium chloride fertigation from flowering-fruiting phase (12.7 kgCl/ha, 16.9 kg K <sub>2</sub> O) (5—6 fertigations) + NPK 18 : 18 : 18 leaf dressing + microelements in vegetative phase (0.6% solution, 300 l/ha) + NPK 10 : 5 : 40 foliar dressing + microelements in the flowering-fruiting stage (0.6% solution, 300 l/ha)



**Fig. 1.** Schematic diagram of drip irrigation system for tomato field experiment in Gornaya Polyana Center

A unique drip irrigation system was used for tomato irrigation. Irrigation was carried out to maintain pre-irrigation soil moisture in active layer at the level of 80% FC. Soil moisture was determined by thermostat-weight method, and also controlled using tensiometers [11].

Podarochny tomato variety was planted after safflower (*Asteraceae*) belonging to oil crops.

After harvesting safflower in August, stubble peeling followed by subsequent chisel tillage at 0.38...0.40 m and real tillage at 0.20...0.22 m was carried out.

Harrowing, weed cultivation and pre-sowing cultivation with local application of complex Azofoska mineral fertilizer (16.16.16) at a dose of 200 kg/ha, 1.4 kg/plot were carried out before seedling planting.

Schedule for Podarochny tomato fertigation in field experiment:

- 1) seedling transplanting — 19 May
- 2) the first fertigation—June 1;
- 3) the second fertigation — June 9;
- 4) foliar dressing in tomato vegetative phase — 13 June;
- 5) the third fertigation — June 14;
- 6) the fourth fertigation — June 20;
- 7) foliar dressing in flowering — fruit formation stage — June 27;
- 8) the fifth fertigation — June 28;
- 9) the sixth fertigation — July 4.

## Results and discussion

Planting seedlings in open ground was carried out in the second decade of May. During the week, the seedlings were taking root. Both pre-planting and post-planting irrigation were carried out with 80...100 m<sup>3</sup>/ha rate. 12...16 days later, well developed tomato plants formed flower buds in some variants, and flowering stage was fixed in the second decade of June for all the variants.

Thus, period from planting to flowering was 36...37 days according to the variants. Period from flowering to fruit formation lasted 7...8 days. Period from fruit formation to full ripeness of fruits was from 42 to 44 days. The number of harvesting held was five.

The last harvest date was on 5 September. After completing vegetative irrigation of tomato plants they remained in good condition in the end of the second decade of September. Moreover, they actively flowered, carried fruits and formed a meaningful yields of green, brown and red fruits. Hence, duration of vegetative period in the studied tomato varieties can be conditionally accepted at an average of 110 days.

Data on these indicators are shown in table 2.

Table 2

**Dates of tomato phenological phases**

Variant	Main phenological phases					
	Trans-planting	Flower bud formation	Beginning of flowering	Fruiting	Beginning of ripening	Mass ripening
1. Ammonium nitrate	19 May	19 June	26 June	4 July	23 July	15 August
3. Calcium nitrate	19 May	18 June	25 June	3 July	23 July	16 August
5. Calcium nitrate + potassium chloride	19 May	19 June	25 June	2 July	22 July	15 August

2 manual weeding and 6 intercultural cultivations were carried out during the vegetation period. To protect tomato plants from harmful pathogens, chemical treatments with fungicides and insecticides were carried out.

In order to maintain 80% FC pre-irrigation moisture content in 0.5 m soil layer, tomato seedlings were applied with 34 irrigation treatments with a total irrigation rate of 4200 m<sup>3</sup>/ha (table 3) during the growing season. The amount of precipitation was 143 mm or 1430 m<sup>3</sup>/ha for growing season. The use of soil moisture by tomato plants was 213...276 m<sup>3</sup>/ha.

Table 3

**Influence of fertigation and foliar dressing on water consumption in Podarochny tomato (2016–2017)**

Variant	Precipitation	Irrigation rate	Water consumption	Σ	Gross yield, t/ha	Index of water consumption, m <sup>3</sup> /t	Water use efficiency, kg/ha/mm
	m <sup>3</sup> /ha						
1	1430	4200	276	5 906	68.5	86.2	115.9
2			264	5 894	69.2	85.2	117.4
3			213	5 843	71.6	81.6	122.5
4			227	5 857	72.8	80.5	124.3
5			245	5 875	89.4	65.7	152.2
6			251	5 881	103.6	56.8	176.2

Table 4

**The effect of fertilization on yield structure of tomato cv. Podarochny (2016–2017)**

Variant	Average number of fruits per plant	Average fruit weight, g	Standard fruit yield, t/ha	Non-standard fruit yield, t/ha	Waste (diseased fruits), %
1	20	122	64.4	4.1	6
2	22	112	65.0	4.2	6
3	23	111	68.0	3.6	5
4	23	113	69.9	2.9	4
5	24	133	84.9	4.5	5
6	26	142	99.4	4.2	4

LSD<sub>05</sub> — 14.16.

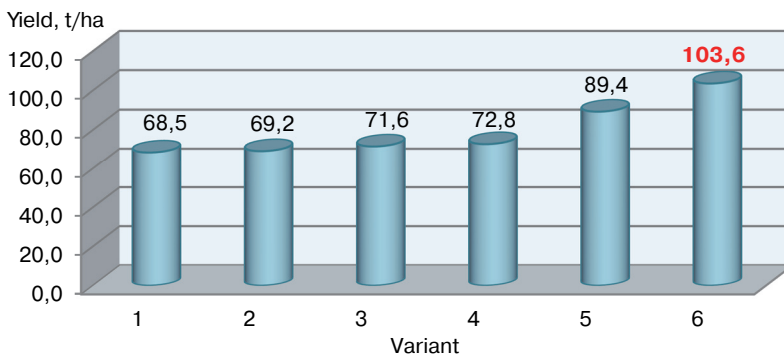


Fig. 2. Tomato yield, t/ha (2016–2017)



An analysis of the harvested tomato structure shows that minimum number of fruits per plant (20) with an average mass of 122 g was formed in the first variant with ammonium nitrate without foliar treatments. The maximum values (26 fruits, 142 g) were obtained in the last variant, where calcium nitrate and ammonium chloride in combination with foliar dressings were used for fertigation.

The second to fifth experimental variants occupied an intermediate position, where the average number of fruits on the plant ranged from 22 to 24, and their mass ranged from 111 to 133 g (Table 4).

As a result, the total yield of standard and non-standard fruits was also the largest in the sixth variant — 103.6 t/ha, in the fifth variant it was 14.2 t/ha less, 72.8 t/ha was in the fourth variant, and the lowest yield (68.5 t/ha) was recorded in the first variant, which was 35.1 t/ha (33.8%) less compared to the sixth variant.

### Conclusions

The obtained results confirm conclusions about the significant advantages of using calcium nitrate for tomato fertigation compared to ammonium nitrate. Moreover, the experiments demonstrated that additional application of chlorides and foliar dressings with complex water-soluble fertilizers in fertilization program gave better results. Thus, it resulted in not only tomato yield increase, but also improvement in such quality indicators, as content of soluble solids and keeping quality of fruit.

The results of the study also indicate that the studied tomato fertilization programs did not showed any negative effect on salt content and composition of exchange cations in light-chestnut soil.

### Введение

Томат является одним из самых востребованных овощей, потребляемых населением Российской Федерации в свежем виде. В сложившихся за последние 20 лет условиях относительно свободного импорта, а также роста тепличного производства, свежие плоды томата стали более доступными во внесезонное время [1, 2].

Вместе с тем получение высоких и стабильных урожаев томата с хорошими потребительскими качествами в открытом грунте в настоящее время стало проблематичным вследствие того, что гибриды и сорта томата интенсивного типа предъявляют повышенные требования к наличию влаги и питательных веществ в корнеобитаемом слое почвы. Сложность в том, что при слаборазвитой корневой системе растения томата должны за короткий промежуток времени нарастить большую вегетативную массу, что возможно только при оптимальной влажности почвы и активном потреблении необходимого количества элементов минерального питания [3—5].

Важнейшим ресурсом дальнейшего развития сельского хозяйства Российской Федерации являются орошаемые земли. Волгоградская область — один из крупных регионов орошаемого земледелия нашей страны. Практически все овощеводство в области ведется на поливных землях [6—8].

В овощеводческих хозяйствах Волгоградской области большое значение придается освоению экологически безопасных технологий и технических средств полива, к которым относится капельное орошение. Этот способ позволяет поддерживать в почве благоприятный водно-воздушный режим без поверхностного

и внутрипочвенного стоков оросительной воды [9]. Необходимый уровень увлажнения почвы в сочетании с внесением расчетных доз минеральных удобрений в течение вегетационного периода обеспечивает получение планируемых урожаев овощей, в т.ч. и томата. Исходя из соображений поддержания экологического, экономического, социального равновесия и стабильности, одна из основных задач орошаемого земледелия состоит в том, чтобы использовать каждый кубический метр оросительной воды, расходуемой на полив сельскохозяйственных культур, наиболее эффективно. Наряду с этим использовать орошаемые земли целесообразно, прежде всего, под ценные, высокорентабельные культуры, к числу которых относится томат. Водопотребление растений и минеральное питание тесно взаимосвязаны [10].

Применение только одного орошения без применения удобрений не окажет положительного влияния на рост, развитие и продуктивность растений.

**Фертигация** является наиболее эффективным и экономичным способом доставки питательных веществ к корневой системе растений и позволяет получать более высокий урожай по сравнению с другими способами внесения удобрений. В системах фертигации легко достигается управление оптимальными концентрациями удобрений, их соотношением и эти параметры могут контролироваться в автоматическом режиме [11, 12].

Полный отказ от применения минеральных удобрений, который некоторые предлагают в качестве одного из путей развития сельского хозяйства, неизбежно приведет к катастрофическому сокращению производства продовольствия. Поэтому более правильным является коренное улучшение технологии использования минеральных удобрений, внесение их в оптимальных дозах и соотношениях, правильное хранение. При неравномерном их внесении одни растения получают избыточное, а другие — недостаточное количество питательных веществ. Это приводит к неодинаковым темпам развития и созревания растений, снижению урожая и качества продукции. Фертигация свободна от этих недостатков, поскольку позволяет вносить питательные вещества в корнеобитаемый слой почвы в заданной расчетной дозировке во все периоды роста и развития растений томата. Технологию фертигации можно усовершенствовать за счет проведения листовых (некорневых) подкормок томата растворами минеральных удобрений [13—15].

**Цель** данной работы заключалась в изучении сравнительной эффективности использования аммиачной селитры, кальциевой селитры (нитрата кальция) и комбинации кальциевой селитры и хлорида аммония для фертигации томата в совокупности с некорневыми подкормками комплексными водорастворимыми удобрениями, содержащими макро- и микроэлементы, в открытом грунте на орошаемой светло-каштановой почве сухостепной зоны каштановых почв Волгоградской области.

### **Материалы и методы**

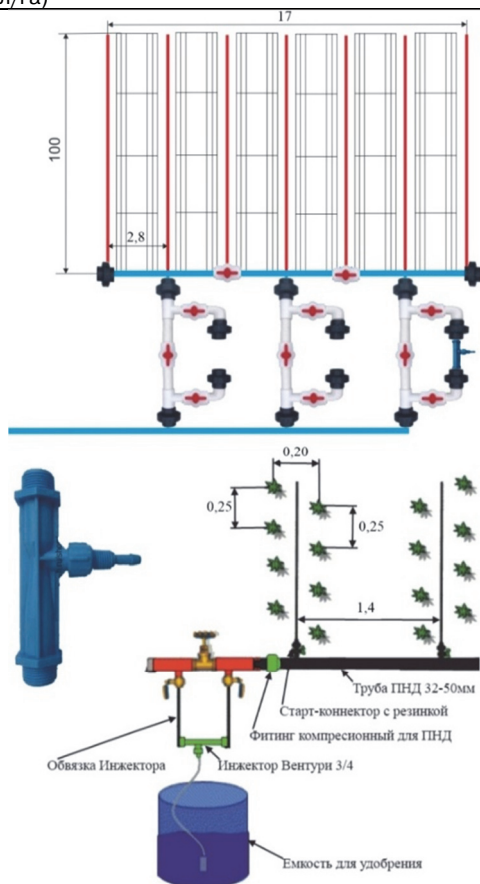
В 2016—2017 г. на светло-каштановой почве в УНПЦ «Горная Поляна» Волгоградского государственного аграрного университета были проведены полевые опыты по изучению фертигации томата в открытом грунте в сочетании с листовыми подкормками NPK и микроэлементами, включающие варианты, приведенные в табл. 1.

Схема посадки изображена на рис. 1. Количество высаженных растений на 1 га составило 28 000 шт.

Таблица 1

**Варианты полевого опыта по изучению эффективности фертигации и некорневых подкормок томата в открытом грунте УНПЦ «Горная Поляна»**

№	Варианты полевого опыта
1	Фертигация аммиачной селитрой
2	Фертигация аммиачной селитрой + листовая подкормка NPK 18 : 18 : 18 + микроэлементы в фазу активного роста (0,6% раствор, 300 л/га) + листовая подкормка NPK 10:5:40 + микроэлементы в фазу цветения — плодообразования (0,6% раствор, 300 л/га)
3	Фертигация нитратом кальция
4	Фертигация нитратом кальция + листовая подкормка NPK 18:18:18+ микроэлементы в фазу активного роста (0,6% раствор, 300 л/га) + листовая подкормка NPK 10:5:40 + микроэлементы в фазу цветения-плодообразования (0,6% раствор, 300 л/га)
5	Фертигация нитратом кальция до фазы цветения — образования плодов (1—4 фертигации) + фертигация нитратом кальция и хлоридом калия, начиная с фазы цветения — образования плодов (12,7 кг Cl/га, 16,9 кг K <sub>2</sub> O) (5—6 фертигации)
6	Фертигация нитратом кальция до фазы цветения — образования плодов (1—4 фертигации) + фертигация нитратом кальция и хлоридом калия, начиная с фазы цветения — образования плодов (12,7 кг Cl/га, 16,9 кг K <sub>2</sub> O) (5—6 фертигации) + листовая подкормка NPK 18 : 18 : 18 + микроэлементы в фазу активного роста (0,6% раствор, 300 л/га) + листовая подкормка NPK 10:5:40 + микроэлементы в фазу цветения-плодообразования (0,6% раствор, 300 л/га)



**Рис. 1.** Принципиальная схема системы капельного орошения в полевом опыте с томатом в УНПЦ «Горная Поляна»

Для полива томата использовалась специально смонтированная система капельного орошения. Поливы проводили для поддержания предполивного порога влажности почвы в активном слое на уровне 80% НВ. Влажность почвы определяли термостатно-весовым методом, а также контролировали при помощи тензиометров [11].

Исследуемый сорт томата Подарочный высаживали после предшественника сафлор красильный, который относится к семейству сложноцветные, по характеру использования — к группе масличных технических культур.

После уборки сафлора красильного в августе проводили лущение стерни с последующей вспашкой чизельно-отвальными рабочими органами Ранчо на глубину рыхления 0,38...0,40 м с оборотом пласта на глубину 0,20...0,22 м.

Весной последовательно проводили покровное боронование, культивацию по мере отрастания сорняков и предпосевную культивацию перед посадкой рассады с локальным внесением комплексного минерального удобрения азофоска 16.16.16 дозой 200 кг/га, 1,4 кг/делянку.

График проведения фертигаций томата Подарочный в полевом опыте:

- 1) посадка рассады — 19 мая;
- 2) первая фертигация — 1 июня;
- 3) вторая фертигация — 9 июня;
- 4) листовая подкормка в фазу активного роста томата — 13 июня;
- 5) третья фертигация — 14 июня;
- 6) четвертая фертигация — 20 июня;
- 7) листовая подкормка в фазу цветения-плодообразования — 27 июня;
- 8) пятая фертигация — 28 июня;
- 9) шестая фертигация — 4 июля.

### Результаты исследований

Высадка рассады в открытый грунт проводилась во второй декаде мая. В течение недели рассада приживалась. Проводились как допосадочный, так и послепосадочный поливы, небольшими поливными нормами 80...100 м<sup>3</sup>/га. Вследствие хорошего развития растений уже через 12...16 дней было отмечено образование цветочных кистей по некоторым вариантам, а фаза цветения во второй декаде июня зафиксирована на всех вариантах.

Таким образом, период от посадки до цветения по вариантам составил 36...37 дней. Период от цветения до плодообразования продолжался от 7 до 8 дней. Бурая спелость плодов отмечена через 64...65 дней. Период от плодообразования до полной спелости составил по сортам от 42 до 44 дней. Количество проведенных сборов — пять.

Дата последнего сбора — 5 сентября. После завершения вегетационных поливов растения томатов и в конце второй декады сентября оставались в хорошем состоянии, активно цвели, плодоносили и формировали значительный урожай плодов: зеленых, бурых и красных. Продолжительность вегетационного периода изучаемых сортов томата, таким образом, может быть условно принята в среднем равной 110 дням.

Данные об этих показателях приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Даты наступления фенологических фаз развития томата**

Вариант опыта	Основные фенологические фазы томата					
	Высадка рассады	Образование бутонов	Начало цветения	Плодообразование	Начало созревания	Массовое созревание
1. Аммиачная селитра	19 мая	19 июня	26 июня	4 июля	23 июля	15 августа
3. Нитрат кальция	19 мая	18 июня	25 июня	3 июля	23 июля	16 августа
5 Нитрат кальция + хлорид калия	19 мая	19 июня	25 июня	2 июля	22 июля	15 августа

Таблица 3

**Влияние программ фертигации и некорневых подкормок на эффективность использования воды растениями сорта томата Подарочный (среднее за 2016–2017 гг.)**

Вариант опыта	Атмосферные осадки	Оросительная норма	Использованная растениями влага из почвы	$\Sigma$	Общая урожайность плодов, т/га	Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т	Эффективность использования воды, кг/га/мм
1	1430	4200	276	5 906	68,5	86,2	115,9
2			264	5 894	69,2	85,2	117,4
3			213	5 843	71,6	81,6	122,5
4			227	5 857	72,8	80,5	124,3
5			245	5 875	89,4	65,7	152,2
6			251	5 881	103,6	56,8	176,2

За время вегетации проведены 2 ручные прополки и 6 междурядных культиваций. Для защиты растений томата от вредных патогенов осуществляли химические обработки фунгицидами против болезней и инсектицидами против вредителей.

Для поддержания предполивной влажности в расчетном слое почвы 0,5 м на уровне 80% НВ в течение вегетационного периода на посадках томата было проведено 34 полива общей оросительной нормой 4200 м<sup>3</sup>/га (табл. 3). Приход влаги от осадков составил за вегетацию 143 мм или 1430 м<sup>3</sup>/га. Использование запасов почвенной влаги растениями томата равнялось 213...276 м<sup>3</sup>/га.

Анализ структуры урожая томата свидетельствует о том, что минимальное количество плодов на кусте (20 шт.) со средней массой 122 г формировалось в первом варианте с фертигацией аммиачной селитрой без проведения некорневых подкормок. Максимальные же показатели (26 шт. и 142 г соответственно) были получены в последнем варианте, где для фертигации применялось сочетание кальциевой селитры и хлорида аммония и осуществлялись некорневые подкормки комплексными водорастворимыми удобрениями.

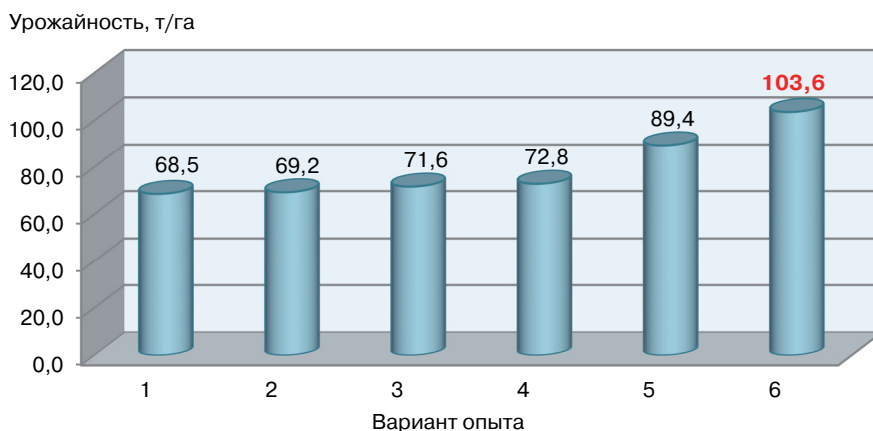
Варианты опыта со второго по пятый занимали промежуточное положение, где среднее количество плодов на кусте составляло от 22 до 24 шт., а их масса колебалась от 111 до 133 г. (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние минерального питания на структура урожая томата Подарочный (среднее за 2016—2017 гг.)**

Вариант опыта	Среднее количество плодов на кусте, шт.	Средняя масса плода, г	Урожайность стандартных плодов, т/га	Урожайность нестандартных плодов, т/га	Отход (пораженные болезнями плоды), %
1	20	122	64,4	4,1	6
2	22	112	65,0	4,2	6
3	23	111	68,0	3,6	5
4	23	113	69,9	2,9	4
5	24	133	84,9	4,5	5
6	26	142	99,4	4,2	4

НСР<sub>05</sub> — 14,16.



**Рис. 2.** Урожайность томата по вариантам опыта, т/га (среднее за 2016—2017 гг.)

В результате общая урожайность стандартных и нестандартных плодов также была наибольшей на шестом варианте 103,6 т/га, на пятом варианте на 14,2 т меньше, далее по урожайности стандартных плодов шел четвертый вариант 72,8 т/га, а самая низкая урожайность зафиксирована на первом варианте 68,5 т/га, что являлось на 35,1 т/га или на 33,8% меньше по отношению к шестому варианту (рис. 2).

**Выводы**

Полученные результаты подтверждают выводы о значительных преимуществах при использовании для фертигации томата кальциевой селитры по сравнению с аммиачной селитрой в исследовании. Эксперименты к тому же продемонстрировали, что включение в программу фертигации хлоридов, а также некорневые подкормки комплексными водорастворимыми удобрениями дают еще более лучшие результаты. При этом наблюдается не только рост урожайности томата, но и улучшение таких качественных показателей, как содержание растворимых сухих веществ и лежкость плодов.

Результаты исследований также свидетельствуют о том, что изученные системы питания томата, включающие внесение с фертигацией существенных количеств кальция и небольших количеств хлора, не оказывали какого-либо отрицательного влияния на содержание солей и состав обменных катионов в светло-каштановой почве.

## References

1. Klimenko NN. Vegetable growing of South of Russia. *Potato and vegetables*. 2013; (8):2—5. (In Russ).
2. Khoroshkin AB. Fertilizing of vegetable crops in South of Russia. *Potato and vegetables*. 2017; (11):16—18. (In Russ).
3. Dolgusha D. Fertigation: fast and convenient. *Vestnik ovoshchevoda*. 2014; (6):12—14. (In Russ).
4. Rusan M. *Fertigatsiya ovoshchnykh kul'tur pri kapel'nom oroshenii na Blizhnem Vostoke: Ispol'zovanie kontseptsii «4-kh pravil» primeneniya udobrenii* [Vegetation of vegetable crops with drip irrigation in the Middle East: Using the concept of “4 rules” in fertilizer use]. Volgograd: IPNI Publ.; 2015. (In Russ). Available from: <http://eeca-ru.ipni.net/article/EECARU-2282>
5. Filin VI, Filin VV. Optimization of fertilizer system of vegetable crops in the Volgograd region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2011;(3):43—50. (In Russ).
6. Azaryeva II. *Sovershenstvovanie tekhnologii kapel'nogo orosheniya tomatov na svetlo-kashtanovykh pochvakh Nizhnego Povolzh'ya* [Improvement of the technology of drip tomato irrigation on light chestnut soils of the Lower Volga] [Dissertation] Volgograd; 2010. (In Russ).
7. Borodychev VV. *Sovremennye tekhnologii kapel'nogo orosheniya ovoshchnykh kul'tur: nauchnoe izdanie* [Modern technologies of drip irrigation of vegetable crops: scientific publication]. Kolomna: Raduga Publ.; 2010. (In Russ).
8. Komarov VN, Kiseleva NN, Vorontsova AI. Application of technological methods of tomato cultivation during drip irrigation. In: *Melioratsiya i problem vosstanovleniya sel'skogo khozyaistva v Rossii* [Recovery and problems of restoration of agriculture in Russia]. Moscow: Pryanishnikov Research Institute of Agrochemistry Publ.; 2013. p. 163—166. (In Russ).
9. Ovchinnikov AS, Bocharnikov VS, Bocharnikova OV, Meshcheryakov MP. Innovative technologies for irrigation of vegetable crops. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2011; (4):13—17. (In Russ).
10. Grigorov MS. Tomato productivity under drip irrigation in light chestnut soils of the Volgograd Region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2014; (2):22—27. (In Russ).
11. Nosov VV, Pleskachev YN, Filin VI, Chamurliev OG, Borisenko IB, Kholod AA, Sidorov AN. Tomato fertigation with calcium and chlorine-containing fertilizers and non-root top dressing with complex water-soluble fertilizers on light chestnut soil of the Volgograd region. *IPNI Newsletter in Russian*. 2017; (3):7—12. (In Russ).
12. Filin VI. Crop programming: from idea to theory and technology of agricultural crops. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2014; (3):26—36. (In Russ).
13. Avdeev YI. Technology of tomatoes in the open ground of the Astrakhan region. *Potato and vegetables*. 2014; (5):7—9. (In Russ).
14. Gil LS, Pashkovsky AI, Sulima LT. *Sovremennoe ovoshchevodstvo zakrytogo i otkrytogo grunta. Prakticheskoe rukovodstvo* [Modern vegetable growing in open and protective ground. A practical guide]. Zhitomir: Ruta; 2012. (In Russ). Available from: <https://ua.b-ok2.org/book/3037453/300cb0>
15. Grushanin AI, But NN. New varieties and hybrids of tomato for open ground of Kuban. *Potato and vegetables*. 2012; (3):19—20. (In Russ).

### Библиографический список

1. Клименко Н.Н. Овощеводство юга России // Картофель и овощи. 2013. № 8. С. 2—3.
2. Хорошкин А.Б. Удобрение овощных на юге России // Картофель и овощи. 2017. № 11. С. 16—18.
3. Долгуша Д. Фертигация: быстро и удобно // Вестник овощевода. 2014. № 6. С. 12—14.
4. Русан М. Фертигация овощных культур при капельном орошении на Ближнем Востоке: Использование концепции «4-х правил» применения удобрений. Волгоград: IPNI, 2015. Режим доступа: <http://eeca-gu.ipni.net/article/EECARU-2282>
5. Филин В.И., Филин В.В. Оптимизация системы удобрения овощных культур в Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 3 (23). С. 43—50.
6. Азарьева И.И. Совершенствование технологии капельного орошения томатов на светло-каштановых почвах Нижнего Поволжья : автореф. дисс. канд. с.-х. наук. Волгоград, 2010. 23 с.
7. Бородычев В.В. Современные технологии капельного орошения овощных культур: научное издание. Коломна : ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2010. 241 с.
8. Комаров В.Н., Киселева Н.Н., Воронцова А.И. Применение технологических приемов возделывания томата при капельном орошении // Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства в России: Материалы междунар. научно-практ. Конф. (Костяковские чтения). 2013. С. 163—166.
9. Овчинников А.С., Бочарников В.С., Бочарникова О.В., Мецераков М.П. Инновационные технологии орошения овощных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 4 (24). С. 13—17.
10. Григоров М.С. Продуктивность томатов при капельном орошении в условиях светло-каштановых почв Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 2 (34). С. 22—27.
11. Носов В.В., Плескачев Ю.Н., Филин В.И., Чамурлиев О.Г., Борисенко И.Б., Холод А.А., Сидоров А.Н. Фертигация томата кальций- и хлорсодержащими удобрениями и некорневые подкормки комплексными водорастворимыми удобрениями на светло-каштановой почве Волгоградской области // Питание растений. 2017. № 3. С. 7—12.
12. Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям сельскохозяйственных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3 (35). С. 26—36.
13. Авдеев Ю.И. Технология томатов в открытом грунте Астраханской области // Картофель и овощи. 2014. № 5. С. 7—9.
14. Гиль Л.С., Пашковский А.И., Сулима Л.Т. Современное овощеводство закрытого и открытого грунта. Практическое руководство. Житомир : Рута, 2012. 468 с. Режим доступа: <https://ua.b-ok2.org/book/3037453/300cb0>
15. Грушанин А.И., Бут Н.Н. Новые сорта и гибриды томата для открытого грунта Кубани // Картофель и овощи. 2012. № 3. С. 19—20.

#### About the authors:

*Chamurliev Omaryi Georgievich* — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agricultural University, 26, pr. Universitetsky, Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: [attika.ge@yandex.ru](mailto:attika.ge@yandex.ru)

*Sidorov Alexander Nikolaevich* — Candidate of Agricultural Sciences, senior lecturer, Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agricultural University, 26, pr. Universitetsky, Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: [sash-ka2008@mail.ru](mailto:sash-ka2008@mail.ru)

*Kholod Anatoly Aleksandrovich* — Candidate of Agricultural Sciences, senior lecturer, Department of Agriculture and Agrochemistry, Volgograd State Agricultural University, 26, pr. Universitetsky, Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: [olodok2009@rambler.ru](mailto:olodok2009@rambler.ru)



*Chamurliev Georgy Omerievich* — Candidate of Agricultural Sciences, senior lecturer, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8, Mikluho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: giorgostsamourlidis@mail.ru

*Bogomolova Natalia Vladimirovna* — Head of the Laboratory of Experimental Remote Sensing and Monitoring of Land Resources, master student, Agrarian and Technological Institute, 8, Mikluho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: bogomolova\_nv@pfur.ru

**Об авторах:**

*Чамурлиев Омарий Георгиевич* — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и агрохимии Волгоградского государственного аграрного университета, 400002, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26; e-mail: attika.ge@yandex.ru

*Сидоров Александр Николаевич* — кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры земледелия и агрохимии Волгоградского государственного аграрного университета, 400002, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26; e-mail: sash-ka2008@mail.ru

*Холод Анатолий Александрович* — кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры земледелия и агрохимии Волгоградского государственного аграрного университета, 400002, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26; e-mail: olodok2009@rambler.ru

*Чамурлиев Георгий Омариевич* — кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель агроинженерного департамента Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8; e-mail: giorgostsamourlidis@mail.ru

*Богомолова Наталья Владимировна* — заведующая лабораторией экспериментального дистанционного зондирования и мониторинга земельных ресурсов, магистрант Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8; e-mail: bogomolova\_nv@pfur.ru



DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-362-373  
УДК 635.21:631.8+63:577.171+631.674.5

Research article

## Affect of growth regulators and irrigation on potato yield in unstable moistening regions

Sergey V. Zhevora

Lorch Potato Research Institute, *Moscow region, Russian Federation*

[zhevora@yandex.ru](mailto:zhevora@yandex.ru)

**Abstract.** The article presents the results of studies (2014—2016) concerning the assessment of the use of growth regulators (Energia-M, Vigor Forte, Atonik Plus) in combination with irrigation in the field experiment during potato cultivation (Udacha variety). The study was conducted in the Ilek district of the Orenburg region, Krasnokholmskaya Agro-firm. The soil was residual meadow southern chernozem. According to the effectiveness of impact on potato yield in southern chernozem of the Orenburg region, the factors were as follows: irrigation provided yield increase from 40% (without fertilizers) to 65...66% (NPK + Regulators); mineral fertilizers provided yield increase from 41% (without irrigation) to 59% (with irrigation); growth regulators on optimal variants provided yield increase: Vigor Forte / Atonik (tubers + plants) — 12...13% for bogharic agriculture; 16...19% with irrigation to the corresponding mineral ground. The maximum yield of potatoes under irrigation was obtained on variants with 2-fold application of Atonic and Vigor Forte growth regulators (tubers + plants) — 44.2...44.5 t/ha, an increase to the mineral fertilizing ( $N_{100}P_{120}K_{100}$ ) — 17.9...18.6%. The optimum soil moisture was 70...75% FC in the irrigated area. This increased the payback of 1 kg NPK due to an increase in yield from 19.6 kg (mineral fertilizing, bogharic agriculture) to 55.6...67.2 kg of tubers (combination of NPK, irrigation and regulators). Water consumption decreased from 212 m<sup>3</sup>/t (mineral fertilizing) to 140...145 m<sup>3</sup>/t (combination of mineral fertilizers and plant growth regulators).

**Key words:** potato, irrigation, growth regulators

### Article history:

Received: 4 March 2019. Accepted: 28 October 2019.

### For citation:

Zhevora SV. Affect of growth regulators and irrigation on potato yield in unstable moistening regions. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):362—373. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-362-373

© Жевора С.В., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Применение регуляторов роста и орошения на картофеле в регионах с неустойчивым увлажнением

С.В. Жевора

ФБГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт  
картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха,  
Московская область, Российская Федерация  
zhevora@yandex.ru

**Аннотация.** Приведены результаты исследований 2014—2016 гг. по выращиванию картофеля (сорт Удача) с применением регуляторов роста (Энергия-М, Вигор Форте, Атоник Плюс) в сочетании с орошением в полевом опыте, который проводился в Илекском районе Оренбургской области (ООО «Агрофирма Краснохолмская») на черноземе южном, остаточно-луговатом. По эффективности действия на урожайность картофеля в условиях чернозема южного Оренбургской области изучаемые факторы расположились следующим образом: орошение — прибавки от 40% (без удобрений) до 65...66% (NPK + Регуляторы); минеральные удобрения — от 41% (без орошения) до 59% (с орошением); регуляторы роста на оптимальных вариантах: Вигор Форте / Атоник (клубни + растения) — 12...13% на богаре; 16...19% при орошении относительно соответствующих минеральных фонов. Максимальная урожайность картофеля в условиях орошения получена на вариантах с 2-кратным применением регуляторов роста Атоник и Вигор Форте (клубни + растения) — 44,2...44,5 т/га, прибавка к минеральному фону ( $N_{100}P_{120}K_{100}$ ) — 17,9...18,6%. Оптимальная влажность почвы 70...75% от НВ на орошаемом участке увеличивала окупаемость 1 кг д. в. NPK прибавкой урожая с 19,6 кг (минеральный фон, богара) до 55,6...67,2 кг клубней (сочетание NPK, поливов и регуляторов). Расход воды на образование прибавки урожая снижался с 212 м<sup>3</sup>/т (минеральный фон) до 140...145 м<sup>3</sup>/т на вариантах сочетания минеральных удобрений с применением регуляторов роста растений.

**Ключевые слова:** картофель, орошение, регуляторы роста

### История статьи:

Поступила в редакцию 4 марта 2019 г. Принята к публикации 28 октября 2019 г.

### Для цитирования:

*Жевора С.В.* Применение регуляторов роста и орошения на картофеле в регионах с неустойчивым увлажнением // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 362—373. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-362-373

### Introduction

Potential soil fertility, hydrothermal conditions, and biological features of the cultivated crop are the leading factors determining productivity of agrocenosis [1—4].

Potato cultivation on an industrial scale in regions with a deficit of rainfall is beneficial only under irrigation conditions, since potatoes produce a stable crop with sufficient moisture [2, 5, 6]. The damage from drought is enormous: 1972 and 2010 served as a vivid example, in the first case, shortage of potato production in the USSR amounted to 9 million tons, and in 2010 9 million tons were not received only in Russia [3].

Irrigation requires increased plant fertilizing, since with a sufficient amount of nutrients in the soil, the effect of irrigation is enhanced and water consumption for formation of a production unit is reduced [5, 6].

In potato practice, growth regulators are of scientific and practical interest as tools for hormonal effects on physiological processes of plants, especially in order to increase reproduction rate and yield of the seed fraction of valuable varieties and high reproductions of seed potatoes [7].

Application of growth regulators combined with irrigation should be considered as indispensable elements of potato cultivation technology in the Central region of Russia [3, 6].

**The goal of the research** was to increase potato yields and yield of tuber seed fraction, depending on irrigation and synthetic phytohormone analogues.

### Materials and methods

The field experiment on growing potatoes using growth regulators (Energia-M, Vigor Forte, Atonik Plus) in combination with irrigation was conducted in 2014—2016 in the Ilek district of the Orenburg region (Krasnokholmskaya Agrofirma). The experimental scheme is given in Table 1.

The following growth regulators were used in the experiment: Energia-M, (crystalline powder, a.i. — 855 g/kg of orthocresoxyacetic acid triethanolammonium salt + 95 g/kg of 1-chloromethylsilatran): pre-treatment of tubers — 4 g/t/10 l of water; foliar treatment — 20 g/ha/300 l of water; Vigor Forte, (crystalline powder, a.i. — 100 g/kg of orthocresoxy acetic acid triethanolammonium salt + macro- (N, P, K, Mg) and microelements (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo)): pre-treatment of tubers — 15 g/t/10 l of water; foliar treatment — 50 g/ha/300 l of water; Atonik Plus, (water soluble concentrate, a.i. — 9 g/l sodium para-nitrophenolate (p-NP) + 6 g/l sodium ortho-nitrophenolate (o-NP) + 3 g/l sodium 5-nitroglucosylate (5-NG): concentration for treating tubers and foliar treatments — 30 ml/t/10 l of water and 900 ml/ha/300 l of water, respectively.

Potato variety — Udacha (early). Planting pattern — 75 × 30 cm, plant density — 44,000 plants/ha. The total area of the plot is 60 m<sup>2</sup>, accounting — 40.5 m<sup>2</sup>. The experiment had three replications. Location of plots was randomized within the re replications. Pre-planting treatment of tubers with growth regulators was carried out 2 days before planting with a Kwazar hand sprayer at the rate of 10 l of operating solution per 1 ton of seed tubers. Foliar spraying of plants with growth regulators was carried out with a Kwazar sprayer in the morning or evening during budding — beginning of flowering of potatoes. The irrigation and non-irrigation unit of the experiment was located nearby on the same field. To maintain moisture content of the active soil layer in the irrigated area not lower than 75...80% FC, 6 to 9 irrigations were carried out with DM-100 Fregat sprinkler machine with 2700...3600 m<sup>3</sup>/ha irrigation rate. Different amounts of irrigation were carried out over the years: in 2014: 3 irrigations in June, 3 in July, 3 in August; in 2015 and 2016: 2 irrigations in June, 3 in July, 1 in August, irrigation rate was 400...460 m<sup>3</sup>/ha.

The predecessor plant was *Bromus inermis*. Fertilizing was full dose (N<sub>100</sub>P<sub>120</sub>K<sub>100</sub>). Planting date was I decade of May, and harvesting was at the end of August.

The soil of the experimental plot — southern chernozem, residual meadow, weakly humus, medium thick, medium loamy with a humus content of 3.2% in the arable layer, it was characterized by a low level of nitrogen mobile forms (6.35 mg/100 g of soil) and phosphorus (8.63...9.96 mg/100 g of soil), and medium level of exchangeable potassium (22 mg/100 g of soil).

The accounts and observations in the experiments were carried out in full accordance with GOST (Russian State Standard) and standard methods. The significance of differences between the means was calculated by the method of two-way analysis of variance at a 5% significance level (Dospekhov B.A., 1985) and AgCStat program — add-ons for Excel (authors Gonchar-Zaikin P.P., Chertov V.G., 2012).

### Results and discussion

The experimental data obtained confirmed the importance of irrigation as an effective factor in increasing and stabilizing potato yields (Table 1). Potato productivity without irrigation was in the range from 23.9 t/ha (mineral fertilizing) to 26.8...27.1 t/ha in variants with growth regulator treatment.

Table 1

Average potato yields in 2014—2016

Варианты	Rainfed			Irrigated		
	Yield, t/ha	Increase		Yield, t/ha	Increase	
		t/ha	%		t/ha	%
1. No fertilization	16.9	—	—	23.6	—	—
2. N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub>	23.9	—	—	37.5	—	—
3. N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub> + Energia tubers	25.7	1.8	7.5	41.0	3.5	9.3
4. N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub> + Energia tubers + plants	26.3	2.4	10.0	43.7	6.2	16.5
5. N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub> + Vigor Forte tubers	26.6	2.7	11.3	42.2	4.7	12.5
6. N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub> + Vigor Forte tubers + plants	27.1	3.2	13.4	44.5	7.0	18.6
7. N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub> + Atonic tubers	26.2	2.3	9.6	42.3	4.8	12.8
8. N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub> + Atonic tubers + plants	26.8	2.9	12.1	44.2	6.7	17.9

LSD<sub>05</sub> 1.5; precision 1.7%; irrigation 65.5%; fertilization 27.4%

Over the years of research, in the block of experiment variants on dry land, efficiency of mineral fertilizers amounted to 41.4%, growth regulator Energia M — 7.5...10.0%, Vigor Forte — 11.3...13.4%, Atonik Plus — 9.6...12.1%. The maximum potato yield was obtained in variants with double use of growth regulators (tubers + plants) — 26.8...27.1 t/ha.

On average, over the research years, potato yields from irrigation increased 1.6...1.7 fold and amounted to 37.5...44.5 t/ha.

In the block of experiment variants with irrigation, efficiency of mineral fertilizers increased to 58.9%, Energia M regulator — 9.3...16.5%, Vigor Forte — 12.5...18.6%, Atonik Plus — 12.8...17, 9%, i.e. when optimizing soil moisture, the effectiveness of mineral fertilizers and growth regulators increased.

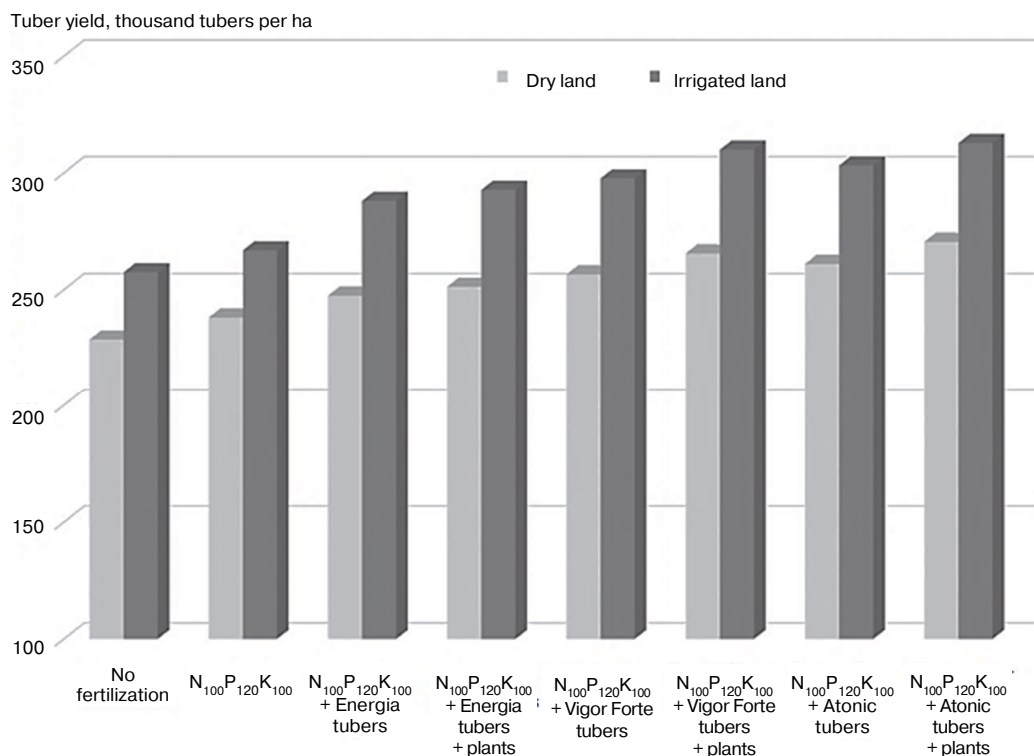
The highest potato yield under irrigation conditions was obtained in variants with 2-fold application of Atonik and Vigor Forte growth regulators (tubers + plants) — 44.2...44.5 t/ha, increase in mineral background — 17.9...18.6%.

Depending on climatic conditions of the year, the level of yield and increase varied. Yield increases from the effect of mineral fertilizers on the dry land were as follows: 34.0% (2014) → 38.4% (2015) → 52.1% (2016); under irrigation: 62.3% (2014) → 63.8% (2015) → 50.8% (2016). The largest increase from mineral fertilizers was noted in 2014 and 2015, which indicated a high irrigation efficiency in dry years.

According to the increase in potato productivity in the conditions of southern chernozem of the Orenburg region, the studied factors were located as follows:

- irrigation — increases from 40% (without fertilizers), 57% (mineral fertilizers) and up to 65...66% (NPK + PGR);
- mineral fertilizers — 41% (without irrigation) and 59% (under irrigation);
- growth regulators: Vigor Forte / Atonik (tubers + plants) — 12...13% on dry land; 16...19% under irrigation and mineral fertilizing.

Combination of the optimal humidity regime and growth regulators under NPK fertilizing contributed to an increase in the number of tubers in terms of 1 bush and 1 hectare (Fig. 1).



**Fig. 1.** Yield of seed fraction depending on growth regulators, processing methods and irrigation (average for 2014—2016)

On average, over the research years, the greatest yield of seed fraction was observed in the irrigation plot variants with 2-fold use of the following regulators: Vigor Forte (tubers + plants) — 310 thousand tubers/ha, Atonik (tubers + plants) — 313 thousand tubers/ha, which was 16.1 and 17.2% higher than NPK fertilizing (variant without growth regulators) — 267 thousand tubers/ha.

An analysis of the data on starch yield from 1 ha in conditions of the Southern Urals showed that when irrigation and growth regulators were used with application of mineral fertilizers during potato cultivation, high starch yield was achieved — up to 52.8...59.0 c/ha, despite its lower concentration in tubers.

The decrease in starch content in tubers in variants under irrigation (by 0.2...0.6%) was due to a more substantial increase in yield and marketability, i.e. due to an increase in the dimensional characteristics of tubers, however, size and quality of the commercial fraction of potatoes were in a balanced ratio, which led to a significant increase in starch per unit area.

Stable and optimal soil moisture 70...75% FC in the irrigated area increased the payback of 1 kg a.i. NPK by yield increase from 19.6 kg (mineral fertilizing, dry land) to 55.6...67.2 kg of tubers (combination of NPK, irrigation and PGR).

Water consumption for formation of yield increase decreased from 212 m<sup>3</sup>/t (mineral fertilizing) to 140...145 m<sup>3</sup>/t in the variants for combining mineral fertilizers and plant growth regulators (Table 2).

Table 2

**NPK payback by yield increase (average for 2014—2016)**

Indicators	N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub> (NPK)	NPK + Energia tubers	NPK + Energia tubers + plants	NPK + Vigor Forte tubers	NPK + Vigor Forte tubers + plants	NPK + Atonic tubers	NPK + Atonic tubers + plants
Dry land							
Increase, t/ha	6.3	8.0	9.0	8.4	8.9	8.2	9.0
Payback, kg/kg	19.6	25.0	28.1	26.3	27.8	25.6	28.1
Irrigation							
Increase, t/ha	14.2	17.8	21.4	18.6	20.8	18.5	21.5
Payback, kg/kg	44.4	55.6	66.9	58.1	65.0	57.8	67.2
Water consumption for increase, m <sup>3</sup> /t	212	169	141	162	145	163	140

## Conclusions

Experimental data convincingly show that in unstable moistening regions of Russia, it is necessary to switch to growing potatoes under irrigation. The economic benefits of using all chemicals are doubled and even tripled if the applied agrochemicals get into evenly moistened soil and plants that are not stressed by moisture deficiency.

Achieving high yields — at the level 41.0...44.5 t/ha and marketability of 88...90% in the irrigated area resulted from:

- 1) planting early plastic potato variety (Udacha);
- 2) use of balanced dose of mineral fertilizers and complex growth regulators for tuber treatment and foliar spraying.

The calculation of economic efficiency according to the research results showed that the use of biologically active agents for seed treatment and combination of this agricultural method with foliar spraying with growth regulators both on irrigation and on dry land were economically effective.

The use of growth regulators Vigor Forte (tubers + foliar treatment) and Atonik (tubers + foliar treatment) under  $N_{100}P_{120}K_{100}$  fertilizers in combination with irrigation was significantly more effective than using only fertilizers on a dry land: value of the conditional income increased 4-fold, cost recovery — by 6%, and production cost decreased by 30%.

The use of irrigation and plant growth regulators under balanced mineral fertilization are indispensable elements of potato cultivation technology, resulting in high yields, increased number of tubers of seed fraction and increased starch content per unit area.

### Введение

Потенциальное плодородие почвы, гидротермические условия и биологические особенности возделываемой культуры являются ведущими факторами, определяющими продуктивность агроценоза [1—4].

Возделывание картофеля в промышленных масштабах в регионах с дефицитом осадков является выгодным только в условиях орошения, поскольку картофель дает стабильный урожай при условии достаточного увлажнения [2, 5, 6]. Ущерб от засухи колоссальный: ярким примером послужили 1972 и 2010 гг., в первом случае недобор объема производства картофеля по СССР составил 9 млн т, а в 2010 г. 9 млн т недобраны только по России [3].

В связи с проведением орошения возрастают требования к технологии возделывания, особенно к питанию растений, так как при достаточном количестве питательных веществ в почве усиливается действие орошения и уменьшается расход воды на образование единицы продукции [5, 6].

В практике картофелеводства научно-практический интерес представляют регуляторы роста как инструменты гормонального воздействия на физиологические процессы растения, особенно в целях повышения коэффициента размножения и выхода семенной фракции ценных сортов и высоких репродукций семенного картофеля [7].

Применение регуляторов роста в сочетании с орошением должны рассматриваться как незаменимые элементы технологии возделывания картофеля в Центральном регионе России [3, 6].

**Цель исследований:** повышение урожайности картофеля и выхода семенной фракции клубней в зависимости от применения поливов и синтетических аналогов фитогормонов.

### Материалы и методы

В 2014—2016 гг. в Илекском районе Оренбургской области (ООО «Агрофирма Краснохолмская») проводился полевой опыт по выращиванию картофеля с применением регуляторов роста (Энергия-М, Вигор Форте, Атоник Плюс) в сочетании с орошением. Схема опыта приведена в табл. 1.



В опыте применяли следующие регуляторы роста: *Энергия-М*, КРП, д.в. — 855 г/кг ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль + 95 г/кг 1-хлорметилсилатран: предпосадочная обработка клубней — 4 г/т/10 л воды; некорневая обработка — 20 г/га/300 л воды; *Вигор Форте*, КРП, д.в. — 100 г/кг ортокрезоксиуксусной кислоты триэтаноламмониевая соль + макро- (N, P, K, Mg) и микроэлементы (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo): предпосадочная обработка клубней — 15 г/т/10 л воды; некорневая обработка — 50 г/га/300 л воды; *Атоник Плюс*, ВРК, д.в. — 9 г/л натрия пара-нитрофенолята (p-NP) + 6 г/л натрия орто-нитрофенолята (o-NP) + 3 г/л натрия 5-нитрогваяколята (5-NG): концентрация для обработки клубней и некорневых обработок — 30 мл/т/10 л воды и 900 мл/га/300 л воды.

Сорт картофеля — Удача (ранний). Схема посадки — 75 × 30 см, густота стояния растений 44 000 шт./га. Общая площадь делянки 60 м<sup>2</sup>, учетная — 40,5 м<sup>2</sup>. Повторность трехкратная. Расположение делянок рендомизированное внутри повторений. Предпосадочную обработку клубней регуляторами роста проводили за 2 дня до посадки ручным опрыскивателем Kwazar из расчета 10 л рабочего раствора на 1 т семенных клубней. Некорневое опрыскивание растений регуляторами роста проводили опрыскивателем Kwazar в утреннее или вечернее время суток в период бутонизации — начало цветения картофеля. Поливной и не поливной блок опыта располагались рядом на одном поле. Для поддержания влажности активного слоя почвы на орошаемом участке не ниже 75...80% НВ за годы исследований проводили от 6 до 9 поливов дождевальными машинами ДМ — 100 «Фрегат» с оросительной нормой 2700...3600 м<sup>3</sup>/га. По годам было проведено различное количество поливов: в 2014 г. 3 полива — в июне, 3 — в июле, 3 — в августе; в 2015 и 2016 гг. — 2 полива в июне, 3 — в июле, 1 — в августе, поливная норма — 400...460 м<sup>3</sup>/га.

Предшественник — кострец безостый. Фоном питания служила полная доза минеральных удобрений (N<sub>100</sub>P<sub>120</sub>K<sub>100</sub>). Срок посадки — I декада мая. Уборка — конец августа.

Почва опытного участка — чернозем южный, остаточно-луговой, слабогумусированный, среднемощный, среднесуглинистый с содержанием гумуса в пахотном слое 3,2%, характеризовался низкой обеспеченностью подвижными формами азота (6,35 мг/100 г почвы) и фосфора (8,63...9,96 мг/100 г почвы) и средней (22 мг/100 г почвы) — обменным калием.

Учеты и наблюдения в опытах осуществляли в полном соответствии с ГОСТами и стандартными методами. Достоверность различий между средними вычисляли методом двухфакторного дисперсионного анализа при 5% уровне значимости (Доспехов Б.А., 1985) и программы AgCStat — надстройки к Excel (авторы Гончар-Зайкин П.П., Чертов В.Г., 2012).

### Результаты и обсуждение

Экспериментальные данные, полученные в опыте, подтвердили значение орошения как мощного фактора повышения и стабилизации урожайности картофеля (табл. 1). Урожайность картофеля на участке без проведения поливов находилась в интервале от 23,9 т/га (минеральный фон) до 26,8...27,1 т/га на вариантах с регуляторами роста.

Таблица 1

## Урожайность картофеля в среднем за 2014—2016 гг.

Варианты	На богаре			На поливах		
	Урожайность, т/га	Прибавки		Урожайность, т/га	Прибавки	
		т/га	%		т/га	%
1. Без удобрений	16,9	—	—	23,6	—	—
2. Фон N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub>	23,9	—	—	37,5	—	—
3. Фон + Энергия клубни	25,7	1,8	7,5	41,0	3,5	9,3
4. Фон + Энергия клубни + растения	26,3	2,4	10,0	43,7	6,2	16,5
5. Фон + Вигор Форте клубни	26,6	2,7	11,3	42,2	4,7	12,5
6. Фон + Вигор Форте клубни + растения	27,1	3,2	13,4	44,5	7,0	18,6
7. Фон + Атоник клубни	26,2	2,3	9,6	42,3	4,8	12,8
8. Фон + Атоник клубни + растения	26,8	2,9	12,1	44,2	6,7	17,9

НСР<sub>05</sub> 1,5; точность 1,7%; влияние поливов 65,5%; удобрений 27,4%.

В блоке вариантов опыта на богаре за годы исследований эффективность минеральных удобрений составила 41,4%, регулятора роста Энергия М — 7,5...10,0%, Вигор Форте — 11,3...13,4%, Атоник Плюс — 9,6...12,1%. Максимальная урожайность картофеля получена в вариантах с двукратным применением регуляторов роста (клубни + растения) — 26,8...27,1 т/га.

В среднем за годы исследований урожайность картофеля от орошения увеличивалась в 1,6...1,7 раза и составляла 37,5...44,5 т/га.

В блоке вариантов опыта с поливами эффективность минеральных удобрений повышалась до 58,9%, регулятора Энергия М — 9,3...16,5%, Вигор Форте — 12,5...18,6%, Атоник Плюс — 12,8...17,9%, т.е. при оптимизации влажности почвы эффективность минеральных удобрений и регуляторов роста возрастала.

Максимальная урожайность картофеля в условиях орошения получена на вариантах с 2-кратным применением регуляторов роста Атоник и Вигор Форте (клубни + растения) — 44,2...44,5 т/га, прибавка к минеральному фону — 17,9...18,6%.

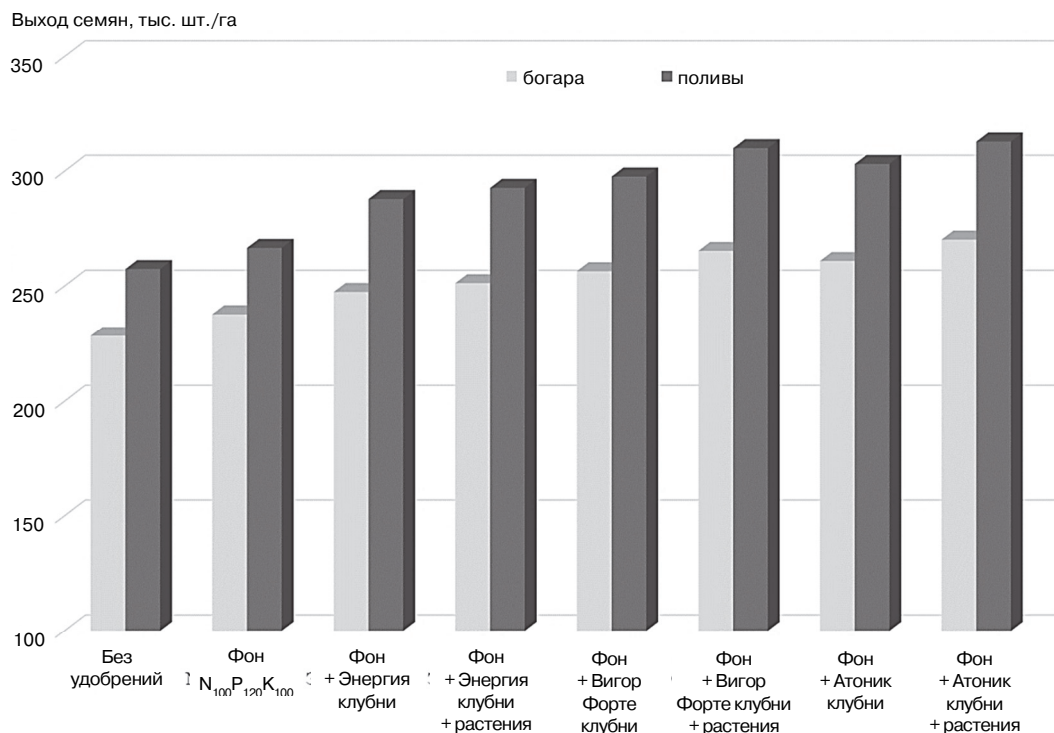
В зависимости от условий года уровень урожайности и прибавки варьировали. Прибавки урожайности от действия минеральных удобрений на богаре расположились следующим образом: 34,0% (2014 г.) → 38,4% (2015 г.) → 52,1% (2016 г.); на орошении 62,3% (2014 г.) → 63,8% (2015 г.) → 50,8% (2016 г.), т.е. наибольшее увеличение прибавок от минеральных удобрений отмечалось в 2014 и 2015 гг., что свидетельствует о высокой эффективности орошения в засушливые годы.

По величине прибавок урожайности картофеля в условиях чернозема южного Оренбургской области изучаемые факторы расположились следующим образом:

— орошение — прибавки от 40% (без удобрений), 57% на минеральном фоне и до 65...66% (NPK + PPP);

— минеральные удобрения — 41% (без орошения) и 59% (с орошением);

— регуляторы роста на оптимальных вариантах: Вигор Форте / Атоник (клубни + растения) — 12...13% на богаре; 16...19% при орошении относительно минерального фона.



**Рис. 1.** Выход семенной фракции в зависимости от применения регуляторов роста, способов обработки и поливов (среднее 2014—2016 гг.)

Сочетание оптимального режима влажности и регуляторов роста на фоне NPK способствовало увеличению количества клубней в пересчете на 1 куст и на 1 гектар посадок (рис. 1).

В среднем за годы исследований наибольший выход семенной фракции наблюдался на вариантах поливного участка при 2-кратном применении следующих регуляторов: Вигор Форте (клубни + растения) — 310 тыс. шт./га, Атоник (клубни + растения) — 313 тыс. шт./га, что на 16,1 и 17,2% выше фона NPK (вариант без регуляторов роста) — 267 тыс. шт./га.

Анализ полученных данных по выходу крахмала с 1 га в условиях Южного Урала показал, что при использовании поливов и регуляторов роста на фоне сбалансированных доз минеральных удобрений при выращивании картофеля достигается высокий сбор крахмала — до 52,8...59,0 ц/га, несмотря на более низкую его концентрацию в клубнях.

Снижение содержания крахмала в клубнях по вариантам опыта на поливном участке (на 0,2...0,6%) происходило за счет более существенного роста урожайности и его товарности, т.е. за счет роста размерных характеристик клубней, однако, величина товарной фракции картофеля и качество продукции находились в сбалансированном соотношении, что привело к существенному росту сбора крахмала с единицы площади.

Стабильная и оптимальная влажность почвы 70...75% от НВ на орошаемом участке увеличивала окупаемость 1 кг д.в. NPK прибавкой урожая с 19,6 кг (минеральный фон, богара) до 55,6...67,2 кг клубней (сочетание NPK, поливов и PPP).

Таблица 2

**Окупаемость НРК прибавкой урожая, среднее за 2014—2016 гг.**

Показатели	Фон N <sub>100</sub> P <sub>120</sub> K <sub>100</sub>	Фон + Энергия клубни	Фон + Энергия клубни + растения	Фон + Вигор Форте клубни	Фон + Вигор Форте клубни + растения	Фон + Атоник клубни	Фон + Атоник клубни + растения
Богара							
Прибавка, т/га	6,3	8,0	9,0	8,4	8,9	8,2	9,0
Окупаемость, кг/кг	19,6	25,0	28,1	26,3	27,8	25,6	28,1
Поливной участок							
Прибавка, т/га	14,2	17,8	21,4	18,6	20,8	18,5	21,5
Окупаемость, кг/кг	44,4	55,6	66,9	58,1	65,0	57,8	67,2
Расход воды на прибавку, м <sup>3</sup> /т	212	169	141	162	145	163	140

Расход воды на образование прибавки урожая снижался с 212 м<sup>3</sup>/т (минеральный фон) до 140...145 м<sup>3</sup>/т на вариантах сочетания минеральных удобрений с применением регуляторов роста растений (табл. 2).

**Заключение**

Экспериментальные данные убедительно показывают, что в регионах России с неустойчивым влагообеспечением необходимо переходить на выращивание картофеля с применением поливов. Экономическая выгода от применения всех средств химизации удваивается и даже утраивается, если применяемые агрохимикаты попадают в равномерно увлажненную почву и на растения, которые не испытывают стресс от дефицита влаги.

Достижению высоких урожаев — 41,0...44,5 т/га и товарности 88...90% на поливном участке способствовали:

- 1) посадка раннего пластичного сорта картофеля (с. Удача);
- 2) использование сбалансированной по элементам питания дозы минеральных удобрений и регуляторов роста комплексного действия для обработки клубней и некорневого опрыскивания ботвы.

Расчет экономической эффективности по результатам исследований показал, что применение биологически активных препаратов для обработки семенного материала и сочетание этого агроприема с некорневым опрыскиванием регуляторами роста как на орошении, так и на богаре было экономически оправдано.

Применение регуляторов роста Вигор Форте (клубни + некорневая обработка растений) и Атоник (клубни + некорневая обработка растений) на фоне полной дозы минеральных удобрений N<sub>100</sub>P<sub>120</sub>K<sub>100</sub> в сочетании с поливами было существенно выгоднее, чем применение одних минеральных удобрений на богаре: величина условного дохода повышалась в 4 раза, окупаемость затрат — на 6%, и снижалась себестоимость продукции — на 30%.

Применение орошения и регуляторов роста растений на фоне сбалансированных доз минеральных удобрений — незаменимые элементы технологии возделывания картофеля, позволяющие получать высокую урожайность, увеличивать количество клубней семенной фракции и сбор крахмала с единицы площади.

## References

1. Akhmedov AD. Reliability of elements of drop irrigation systems depending on quality of irrigation water. In: *Rol' melioratsii vodnogo khozyaistva v innovatsionnom razvitii APK : materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Ch. I. Melioratsiya i rekul'tivatsiya zemel'* [A role of melioration of water management in innovative development of AIC: proceedings of the international scientific and practical conference. Part I. Melioration and recultivation of lands. Moscow: MGUP Publ.; 2012. p. 11.
2. Kolesnikov LD. *Pomni o zasukhe* [Remember a drought]. Chelyabinsk: Yuzhno-Ural'skoe knizhnoe izdatel'stvo Publ.; 1970.
3. Korshunov AV, Rakhimov RL. Irrigation and fertilizing are guarantors of high potato yield. *Potato and vegetables*. 2011; (6): 7—10.
4. Shabanov AE, Kiselev AI, Fedotova LS. Parameters of potential yield of potato varieties from the Breeding Center of the All-Russian Research Institute of Potato Breeding. *Zemledelie*. 2018; (5):34—36. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10509
5. Dubenok NI, Mushinskij AA, Vasilev AA, Gerasimova EV. Technology of potato cultivation in steppe and forest-steppe zones of the southern Urals under conditions of irrigation. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2016; 30 (7):71—74.
6. Cheremisin AI. Irrigation of potatoes — effective method of increase in productivity. In: *Sibirskie uchenye — agrarno-promyshlennomu kompleksu* [The Siberian scientists — to an agrarian and industrial complex]. Omsk; 2000. p. 28—30.
7. Rakitin YV. *Khimicheskie regulatory zhiznedeyatel'nosti rastenii: Izbrannye trudy* [Chemical regulators of activity of plants: Chosen works]. Moscow: Nauka Publ.; 1983.

## Библиографический список

1. *Ахмедов А.Д.* Надежность элементов систем капельного орошения в зависимости от качества поливной воды // Роль мелиорации водного хозяйства в инновационном развитии АПК: материалы международной научно-практической конференции. Ч. I. Мелиорация и рекультивация земель. М.: МГУП, 2012. С. 11.
2. *Колесников Л.Д.* Помни о засухе. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1970. 130 с.
3. *Коришунув А.В., Рахимов Р.Л.* Орошение и удобрение — гаранты высоких урожаев картофеля // Картофель и овощи. 2011. № 6. С. 7—10.
4. *Шабанов А.Э., Киселев А.И., Федотова Л.С.* Параметры потенциальной урожайности сортов картофеля селекционного центра ВНИИКХ // Земледелие. 2018. № 5. С. 34—36. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10509
5. *Дубенок Н.И., Мушинский А.А., Васильев А.А., Герасимова Е.В.* Технологии возделывания картофеля в степной и лесостепной зонах Южного Урала в условиях орошения // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 7. С. 71—74.
6. *Черемисин А.И.* Орошение картофеля — эффективный прием повышения урожайности // Сибирские ученые — аграрно-промышленному комплексу. Омск, 2000. С. 28—30.
7. *Ракитин Ю.В.* Химические регуляторы жизнедеятельности растений: Избранные труды. М.: Наука, 1983. 264 с.

### About the author:

Zhevora Sergey Valentinovich — Candidate of Agricultural Sciences, Director, Lorch Potato Research Institute, 23/B, ul. Lorha, Kraskovo village, Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation; e-mail: zhevora@yandex.ru

### Об авторе:

*Жевора Сергей Валентинович* — кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха, Российская Федерация, 140051, Московская область, Люберецкий район, поселок Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В; e-mail: zhevora@yandex.ru



## Генетика и селекция Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-374-389

Research article

### GGE biplot analysis of Line by tester for seed yield and its attributes in sunflower

M.A. Ahmed<sup>1</sup>, Mohamed A. Abdelsatar<sup>1\*</sup>,  
M.A. Attia<sup>1</sup>, Abeer A.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Oil Crops Research Department, Field Crops Research Institute,  
Agricultural Research Center, Giza, Egypt

<sup>2</sup>Seed Technology Research Department, Field Crops Research Institute,  
Agricultural Research Center, Giza, Egypt

\*Corresponding author: mohamedtemraz1@yahoo.com

**Abstract.** Nine genetically diverse sunflower promising lines in their economic trait were crossed using line by tester mating design in 2018 spring season, to estimate *per se* performance, combining ability, heterosis, gene action and heritability for earliness, yield and its attributes traits. The parents involved four sunflower CMS lines namely L1 (A3), L2 (A5), L3 (A9) and L4 (A13) (called hereafter “Lines” (as female parents) and five sunflower genotypes T1 (RF9), T2 (RF10), T3 (RF11), T4 (RF14) and T5 (RF1) as male parents (called hereafter “Tester”). In 2018 and 2019 summer season, the nine parents along with their 20 F<sub>1</sub>s seeds were evaluated at *Shandaweel* Agricultural Research Station, ARC, Sohag Governorate, Egypt using a randomized complete blocks design with three replications. Mean squares due to parents (P), crosses (C), CMS lines (L), RF testers (T), P vs C and L x T were significant for all studied traits. A larger magnitude of non-additive gene action than additive was revealed by greater ratios (GCA/ SCA) than unity for all studied traits (except for days to 50% flowering). A5 and A13 of CMS lines and RF11 and RF14 of RF lines proved to be the best general combiners for seed weight plant<sup>-1</sup> and one or more of its attributes traits. Moreover, the best cross combinations A13 x RF11, A13 x RF1 and A5 x RF9 performed better than other developed hybrids in view of seed weight plant<sup>-1</sup> and one or more of its attributes, hence these F1 hybrids could further be used on commercial exploitation.

**Key words:** sunflower, *Helianthus annuus* L., line by tester, combining ability, heterosis, gene action

#### Article history:

Received: 12 October 2019. Accepted: 15 November 2019.

© Ahmed M.A., Abdelsatar M.A., Attia M.A., Abeer A.A., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**For citation:**

Ahmed MA, Abdelsatar MA, Attia MA, Abeer AA. GGE biplot analysis of Line by tester for seed yield and its attributes in sunflower. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4):374—389. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-374-389

**Introduction**

Egypt is suffering from drastically deficit of edible oil. Therefore, Egyptian sunflower breeders seek to produce commercial sunflower for contributing in filling the gap between oil demand and supply, due to the fact that it is an excellent source of edible vegetable oil. Cytoplasmic male sterility plays an important role in developing high yielding sunflower hybrids, hence it can be widely used instead of open pollinated varieties. The assessment potential of CMS and RF lines is one of the greatest importance of sunflower breeders, a good approach for this purpose is the line by tester mating design. To provide information with regard to general combining ability (GCA) of parental genotypes, specific combining ability (SCA) of their cross combination and heterotic studies, either traditional line x tester analysis or GGE biplot analysis for Line x Tester data [1] can be used. Hladny *et al.* reported that non-additive gene action played a major role in inheritance of 100 seed weight than additive effects [2]. Also, in other reports, for seed weight, seed weight plant<sup>-1</sup>, plant height and head diameter of sunflower, are more important non-additive gene action than additive ones have been reported by Škorić *et al.* [3]. 13 new cytoplasmic male sterile lines and 3 testers were used by Hladni *et al.* to develop 39 F1 hybrids, they reported that the parents and their crosses were significantly different in their mean values for plant height and head diameter [4]. The parent with more plant height was dominant over parent with head diameter while parent with more head diameter was dominant over parent with average plant height. The results exhibited significantly high positive general combining ability for plant height and head diameter in CMS line (NS-G-7) and in tester (RHA-N-49). In the newly developed hybrids, significantly high positive specific combining ability was present in NS-G-8× RUS-RF-OL-168 for head diameter and NS-G-1× RHA-N-49 for plant height. By GCA/SCA ratio in the F1 hybrids which was smaller than unit, it was confirmed that non-additive gene action played dominant role in the inheritance of both traits (plant height and head diameter). Memon *et al.* used cytoplasmic male sterility to develop 18 F1 hybrids inline by tester fashion, they reported that the degree of dominant genes was greater than unity of genes, hence, the main role of dominant genes was very important [5]. Therefore, estimated heritability was normally low to moderate due to dominant variance.

Therefore, the aims of this study were to estimate *per se* performance, heterosis, combining ability, gene action and heritability for earliness, yield and its attributes traits.

**Materials and methods**

Nine genetically diverse sunflower parental genotypes in their economic traits were mated using line by tester mating design. The parents involved four sunflower CMS lines which were designed as L1 (A3), L2 (A5), L3 (A9) and L4 (A13) as female parents (called hereafter “Lines”) and five sunflower RF lines T1 (RF9), T2 (RF10), T3 (RF11),

T4 (RF14) and T5 (RF1) as male parents (called hereafter “Tester”). These parental genotypes were received from Department of Oilseed Crops Department, Field Crops Research Institute, Agricultural Research Center, Egypt.

In 2018 spring season, each of the four male parents was crossed with the five female parents to produce sufficient of seeds for 20 F1 crosses at Giza Agricultural Research Station, ARC, Giza Governorate, Egypt. In 2018 and 2019 summer seasons, the nine parental genotypes along with their 20 F1s seeds were evaluated at *Shandaweel* Agricultural Research Station, ARC, *Sohag* Governorate, Egypt. The soil texture of the experimental site was clay, including 8.02% sand, 35.46% silt and 56.52% clay, with pH of 7.6 and EC of 0.25 mmh/cm.

The experimental design was randomized complete blocks design with three replications. Each entry was contiguous sown without leaving separators in two ridges of 5 m length and 60 cm width, with a distance of 30 cm between each two hills. Four seeds were sown per hill and later thinned out to one plants per hill before the first irrigation. The other recommended packages of agronomic practices were followed as recommended by Oil Crops Research Department.

Data for the following traits were recorded on five individual guarded plants chosen at random from each plot, except for days to 50% flowering where the whole plot was used. Data included days to 50% flowering, plant height, stem diameter, head diameter, 100-seed weight and seed weight plant<sup>-1</sup>. Seed oil content was determined after extraction with Soxhelt's apparatus using hexane as an organic solvent according to A.O.A.C (1990).

**Statistical analysis.** Analysis of variance was performed for combined data after confirmed of homogenous of error as cited by Singh and Chaudhary [6]. Combining ability analysis of line × tester was conducted based on the procedure developed by Kempthorne [7]. Mid parent heterosis was determined for individual hybrids as the percentage deviation of F1 means performance from mid parent value. Average degree of dominance ( $\bar{a}$ ) was calculated according to the following equation given below [8]. For analysis of variance, the data were further subjected to biplot analysis according to the method of [9] and [10]. GGE biplot methodology for combining abilities (GCA and SCA) in a line × tester data set was used, with the following model as:

$$Y_{ij} - \beta_j = \lambda_1 \xi_{i1} \eta_{j1} + \lambda_2 \xi_{i2} \eta_{j2} + \varepsilon_{ij},$$

where  $Y_{ij}$ : genotypic value of the cross between  $i$ th line and  $j$ th tester;  $\beta_j$ : average value for crosses involving  $j$ th tester;  $\lambda_1$ : singular value for PC<sub>1</sub>;  $\lambda_2$ : singular values for and PC<sub>2</sub>;  $\xi_{i1}$  and  $\eta_{j1}$ : eigenvectors for PC<sub>1</sub> associated with  $i$ th line;  $\xi_{i2}$  and  $\eta_{j2}$ : eigenvectors for PC<sub>2</sub> associated with  $j$ th tester;  $\varepsilon_{ij}$ : overall residual of the model associated with the combination of line  $i$  and tester  $j$ .

Symmetrical scaling was carried out for Principal components scores for entries and testers [9, 10]. The analyses reported in this study were performed with MS-EXCEL (2007) with spreadsheet formula commands.

## Results and Discussion

**Genetic variability.** It is apparent from the results of Table 1 that mean squares of genotypes and their components like parents, crosses and parents × crosses were highly significant ( $P < 0.01$ ) for all evaluated traits, indicating the presence of wide



genetic variability in the investigated genetic materials. Again, considerable average degree of heterosis among created crosses for all studied traits as indicated by highly significance of parent's interaction with crosses, indicating that mean performance of crosses was different with difference of parents. Similarly, mean square of crosses and their populations i.e. lines, tester and line  $\times$  tester was highly significant for all studied traits. Since, significance of mean square due to lines and testers (GCA) was observed for all studied traits, indicating wide genetic variability existed among CMC lines and restorer lines. Accordingly, highly significant interaction of lines with tester (SCA) was depicted for all studied traits, hence selection is possible to determinate the most preferred crosses. In consequence of substantial genetic variability among lines, tester and their crosses (lines  $\times$  tester) for all studied traits as shown in Table 1, further biometrical analysis as combining ability and heterosis was valid. These results are in agreement with the results of [2, 11—15] who also reported such type of findings.

Table 1

**Mean squares of the nine sunflower parents (five RF lines and four CMS lines) and their 20 F<sub>1</sub> crosses for all studied traits (combined data of 2018 and 2019 summer season)**

S.O.V	df	Days to 50% flowering	Plant height	Stem diameter	Head diameter	100-seed weight	Seed weight plant <sup>-1</sup>	Seed oil content
Reps	2	2.63	3.95	0.02	2.47	0.04	0.74	0.10
Entries	28	89.28**	537.81**	0.64**	22.32**	1.72**	130.81**	26.48**
Parents	8	151.29**	510.59**	0.10**	5.18**	1.37**	61.64**	7.28**
Crosses	19	60.79**	528.29**	0.28**	11.39**	0.48**	37.53**	20.73**
P vs C	1	134.44**	936.58**	11.71**	367.295**	27.97**	2456.32**	289.29**
Lines	4	142.93**	1587.56**	0.87**	34.37**	0.65**	121.66**	56.09**
Testers	3	171.22**	458.38**	0.27**	7.05**	1.22**	43.67**	37.43**
Line x tester	12	5.80*	192.67**	0.09**	4.81**	0.24**	7.96**	4.77**
Error	56	2.82	7.29	0.01	1.36	0.03	0.83	1.17
$\delta^2$ gca		1.60	9.80	0.01	0.19	0.01	0.86	0.47
$\delta^2$ sca		0.99	61.80	0.03	1.15	0.07	2.37	1.20
GCA/SCA		1.62	0.16	0.20	0.17	0.11	0.36	0.39

\*\*Significant at 0.01 probability level GCA: general combining ability and SCA: specific combining ability

The highest variance due to specific combining ability was detected in plant height (61.80), stem diameter (0.03), head diameter (1.14), 100-seed weight (0.07), seed weight plant<sup>-1</sup> (2.37) and seed oil content (1.20) as compared to general one. The reverse was also true in remaining traits, indicating that the non-additive gene action (non-fixable) prevailed in the inheritance of the above traits. As further confirmed by ratio of SCA to GCA variances, which was lesser than unit for the previous traits, heterosis/hybrid vigor can be commercially exploited.

**Mean performance.** Mean performance of nine parental sunflower genotypes along with their respective 20 F<sub>1</sub> crosses for all studied traits is presented in Table 2. Generally, all cross combinations were earlier by (5.93%) and shorter by (5.09%) than their respective parents. Conversely, a progressive increase was observed in stem diameter by 32.89%, head diameter by 23.58%, 100-seed weight by 19.91%, seed weight plant<sup>-1</sup> by 21.80% and seed oil content by 10.01%.

Table 2

**Mean performance of the nine sunflower parents (five RF lines and four CMS lines) and their 20 F1 crosses for all studied traits (combined data of 2018 and 2019 summer season)**

	Days to 50% flowering	Plant height	Stem diameter	Head diameter	100-seed weight	Seed weight plant <sup>-1</sup>	Seed oil content
A3 × Rf9	39.00	128.63	2.23	17.60	5.54	51.04	38.18
A3 × Rf10	36.67	111.77	1.80	16.50	5.41	45.67	42.83
A3 × Rf11	42.00	143.00	2.37	18.17	5.72	52.10	36.86
A3 × Rf14	45.00	153.50	2.77	21.43	6.40	54.70	37.63
A3 × Rf1	40.33	119.17	2.30	17.23	5.62	48.85	38.44
A5 × Rf9	47.33	134.67	2.30	18.63	6.22	53.61	37.34
A5 × Rf10	41.33	125.90	2.27	17.00	6.21	51.77	42.91
A5 × Rf11	49.67	151.10	2.70	21.00	6.40	55.43	40.27
A5 × Rf14	56.00	153.23	3.30	23.00	5.88	58.09	34.34
A5 × Rf1	46.33	145.71	2.43	18.60	6.50	53.11	36.90
A9 × Rf9	47.00	150.00	2.27	17.20	6.50	51.32	41.37
A9 × Rf10	43.33	126.70	2.47	16.03	5.85	47.48	43.49
A9 × Rf11	48.67	135.93	2.40	20.07	6.55	53.60	41.95
A9 × Rf14	50.33	156.07	2.63	21.47	6.57	57.20	40.81
A9 × Rf1	47.33	139.00	2.30	17.03	6.43	52.11	41.07
A13 × Rf9	44.00	154.54	2.23	19.77	6.35	52.32	37.76
A13 × Rf10	42.00	125.47	2.00	17.63	5.57	46.97	42.68
A13 × Rf11	46.33	135.33	2.50	21.03	6.40	58.52	38.81
A13 × Rf14	49.67	155.00	2.63	18.20	6.56	55.08	36.19
A13 × Rf1	44.67	144.47	2.33	19.17	6.44	54.95	37.87
A3	53.33	131.60	1.60	14.14	4.70	46.33	36.49
A5	58.00	139.69	1.83	17.07	5.66	44.22	34.26
A9	56.00	138.07	1.80	15.33	6.04	45.27	32.20
A13	53.67	130.77	1.63	13.90	5.32	42.57	35.16
Rf9	42.67	148.57	1.50	12.73	4.64	35.19	35.42
Rf10	39.33	147.87	1.33	12.83	4.72	34.29	36.19
Rf11	43.33	169.80	1.53	14.53	4.21	41.57	37.66
Rf14	44.33	160.40	1.87	14.87	5.16	44.33	35.24
Rf1	41.67	152.20	1.47	14.17	3.94	37.11	36.37
Crosses	45.35	139.46	2.41	18.84	6.16	52.70	39.38
Parents	48.83	145.85	1.64	14.43	5.06	41.72	35.33
Average	46.18	141.66	2.17	17.46	5.78	49.13	38.16
LSD 0.05	2.75	4.42	0.16	1.91	0.30	1.49	1.77
LSD 0.01	3.66	5.88	0.22	2.54	0.40	1.99	2.36

The earliest sunflower genotypes were A3 (53.33 day), Rf10 (39.33 day) and their F1 cross A3 × Rf10 (36.67 day), A3 × Rf9 (39 day) and A3 × Rf1 (40.33 day), indicating that genes controlling the early flowering have been transferred from the parents to their F<sub>1</sub> progeny. Moreover, A13 (130.77 cm) and A3 (131.60 cm) of CMS lines along with Rf10 (147.87 cm) and Rf9 (148.57 cm) of Restorer lines were the shortest (dwarfness) parents and their performance was reflected on their respective crosses A3 × Rf10 (111.77 cm), A3 × Rf1 (119.17 cm) and A13 × Rf10 (125.47 cm). Again, it was revealed that alleles controlling dwarfness have been transmitted from parents to their offspring.

It is worthy to note that in contrast to days of 50% flowering and plant height, the highest values of the remaining traits are of the greatest important challenge for sunflower breeder. Accordingly, the largest stem diameter was detected in A5 (1.83 cm)

and A9 (1.80 cm) of CMS lines and Rf14 (1.87 cm) and Rf11 (1.53 cm) of Restorer lines and their performance were reflected on their respective crosses  $A5 \times Rf14$  (3.30 cm) followed by  $A3 \times Rf14$  (2.77 cm) and  $A5 \times Rf11$  (2.70 cm). This may be attributed to genes with positive effect on stem diameter transferred from parents to their respective F1 crosses. Similarly, the largest head diameter, again, was achieved by A5 (17.07 cm) and A9 (15.33 cm) of CMS lines and Rf14 (14.87 cm) and Rf11 (14.53 cm) of restorer lines, which inherited the largest head diameter to their respective crosses  $A5 \times Rf14$  (23.00 cm),  $A9 \times Rf14$  (21.47 cm) and  $A3 \times Rf14$  (21.43 cm). Moreover, the genes controlling the heaviest weight of 100-seed inherited from A9 (6.04 g) and A5 (5.66 g) of CMS lines and Rf14 (5.16 g) and Rf10 (4.72 g) of restorer lines to their respective crosses  $A9 \times Rf14$  (6.57 g),  $A13 \times Rf14$  (6.56 g) and  $A9 \times Rf11$  (6.55 g). Consequently, the heaviest weight of seed plant<sup>-1</sup> was detected in A3 (46.33 g) and A9 (45.27 g) of CMS lines and Rf14 (44.33 g) and Rf11 (41.57 g) of restorer lines, which characterized by their ability to contribute genes with positive effect on seed weight plant<sup>-1</sup> to their respective F1 crosses  $A13 \times Rf11$  (58.52 g),  $A5 \times Rf14$  (58.09 g) and  $A9 \times Rf14$  (57.20 g). In addition, the highest proportion of seed oil was observed in A3 (36.49%) and A13 (35.16%) of CMS lines and Rf11 (37.66%), Rf1 (36.37%) and Rf10 (36.19%) of restorer lines, as they had genes with positive effect on seed oil content and their genotypic performance was relatively reflected on some of their respective crosses  $A9 \times Rf10$  (43.49%),  $A5 \times Rf10$  (42.91%),  $A3 \times Rf10$  (42.83%) and  $A13 \times Rf10$  (42.68%). These finding is in accordance with the findings of [4, 14—16] that reported to some extent the same kind of results.

**GGE biplot analysis for Line  $\times$  Tester data.** The 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> principal component analysis explained most of variation in evaluated traits where 99.42, 99.26, 97.68, 93.87, 98.70, 96.59 and 99.91% of the total variation for days of 50% flowering, plant height, stem diameter, head diameter, 100-seed weight, seed weight plant<sup>-1</sup> and seed oil content of the total variation. Hence, proficiency of GGE biplot for all studied traits was more precisely expressed in graphical analysis as it had the largest explanation of variation. The dispersed placement of the lines and testers on the ATC abscissa for all studied traits as in Fig. (1A1-7G3) showed significant GCA effects [10]. Similarly, the SCA effects for all studied traits were also found significant, since lines and testers showed different projections on the ATC ordinate [10].

The best combiners of parental lines for all studied traits are correctly identified by the parallel lines perpendicular onto the ATC abscissa in graphical analysis. Whereas, the best combiners of testers for all studied traits are approximated by the smallest projection of tester marker onto the ATC ordinate (most representative) coupled with the longest vector of distance between the marker of tester and plot origin (most discriminating). The best mating partners of seed yield and its components can be determined by polygon when the line and tester falling into the same sector, whereas for early flowering and maturity and dwarfiness the contrast condition will be fit to identify the best cross combinations [1].

**Days to 50% flowering.** A graphical analysis as seen in Fig. 1 (A1) showed that negative and highly significant GCA as the best combiners of lines was observed in A3 and A13 of CMS lines for earliness in flowering, as they were placed at long distance

from the biplot origin in the negative direction of ATC abscissa. These findings were consistent with their respective GCA effects in traditional analysis (with GCA effects of  $-4.52^{**}$  and  $-0.02$  for CMS lines). On the other hand, the best testers combiners for earliness in flowering (Fig. 1 A2) was observed in RF10 (1.29 Discr. and 1.14 Repr.) and RF9 (1.97 Discr. and 0.15 Repr.) of RF lines, as they had the longest vector of all testers and smallest projection on ATC ordinate. This was in parallel with their respective effects of tester GCA (Table 3) in traditional analysis (with GCA effects of  $-4.52^{**}$  and  $-1.02^*$  for CMS lines). Accordingly, they are the ones who would be the best candidate from the breeder's point of view to develop genotypes with early flowering.

The A5 (1.47 Repr.) followed by A9 (1.13 Repr.) and A13 (0.48 Repr.) of CMS lines as well as RF14 (1.79 Repr.) and RF10 (1.14 Repr.) of RF lines had the highest SCA, as they had the largest projections onto the ATC ordinate (Fig. 1. A1 and A2 as well as Table 4).

The polygon view of a biplot is considered as a powerful visual tool which offers the best approach for identifying the interaction patterns between lines and testers (Fig. 1, A3). As shown in Fig. 1 A3, the hybrids taking relatively fewer days to 50% flowering are desired. Therefore, the lines A3 produced desirable cross combinations especially with testers RF10, RF9 and RF1, as well as A5 which gave the best cross combinations with Testers RF10 since this was in well agreement with their respective heterosis of mid parents (Table 5).

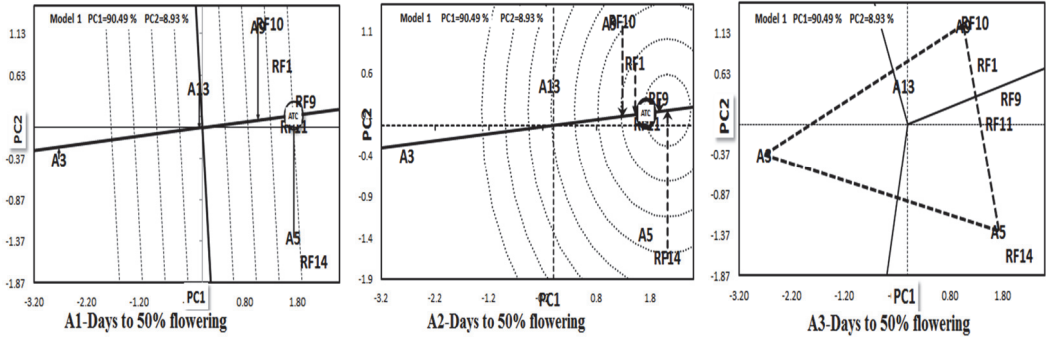
**Plant height.** Negative and highly significant GCA as the best combiners of parental lines for dwarfiness was observed in A3 (4.51 Discr.) of CMS lines (Fig. 2, B1) as well as RF10 (2.45 Discr. & 0.01 Repr.) and RF1 (4.02 Discr. and 0.92 Repr.) of RF lines (Fig. 2 B2), as they occupied farthest position on the ATC x-axis. This result was in well agreement with their respective GCA effects (Table 3) in traditional analysis (with GCA effects of  $-8.25^{**}$  for CMS lines as well as  $-17.00^{**}$  and  $-2.37^{**}$  for RF lines).

The CMS lines A5 (3.40 Repr.) followed by A13 (2.23 Repr.) as well as the RF lines RF9 (3.84 Repr.) and RF11 (3.40 Repr.) had the highest SCA, as they had the largest projections onto the ATC ordinate (Fig. 2, B1 and B2 and Table 4).

As shown in Fig. 2, B3, the hybrids had the desired dwarfiness. Therefore, the CMS lines A3 produced desirable cross combinations especially with testers RF10 and RF1, A5 with RF10, A9 with RF11, and A13 with RF11. This result was in well agreement with their respective heterosis of mid parents (Table 5).

**Stem diameter.** The largest projection onto the ATC abscissa (Fig. 3 C1), in reference to the highest GCA effects, were observed in A5 of CMS lines and RF14 (0.71 Discr. and 0.44 Repr.) of RF lines (Fig. 3 C2), hence these ones were identified as the best donors for improving stem diameter, which was consistent with their respective GCA effects (Table 3) in traditional analysis (with GCA effects of  $0.19^{**}$  of CMS lines and  $0.42^{**}$  of RF lines).

The largest projections onto the ATC ordinate, in reference to SCA, were detected in A9 (0.54 Repr.), A3 (0.30 Repr.) and A5 (0.24 Repr.) of CMS lines and RF10 (0.62 Repr.) and RF14 (0.44 Repr.) and thus these ones were considered as the best SCA effects (Fig. 3 C1 and C2 as well as Table 4).



**Fig. 1.** Biplot of A1 (average tester coordinate), A2 (ideal tester) and A3 (polygon view) for days to 50% flowering (combined data of 2018 and 2019 summer season)

Table 3

**General combining ability effects of the nine sunflower parents (five RF lines and four CMS lines) for all studied traits (combined data of 2018 and 2019 summer season)**

	Days to 50% flowering	Plant height	Stem diameter	Head diameter	100-seed weight	Seed weight plant <sup>-1</sup>	Seed oil content
Lines							
A3	-4.75**	-8.25**	-0.12**	-0.65*	-0.42**	-2.22**	-4.75**
A5	2.78**	2.66**	0.19**	0.81**	0.09	1.71**	2.78**
A9	1.98**	2.08**	0.00	-0.48	0.22**	-0.36	1.98**
A13	-0.02	3.50**	-0.07**	0.32	0.11*	0.87**	-0.02
LSD 5%	0.87	1.40	0.05	0.60	0.10	0.47	0.87
LSD 1%	1.16	1.86	0.07	0.80	0.13	0.63	1.16
Tester							
RF9	-1.02*	2.50**	-0.15**	-0.54	-0.01	-0.62*	-1.02*
RF10	-4.52**	-17.00**	-0.28**	-2.05**	-0.40**	-4.72**	-4.52**
RF11	1.32**	1.88*	0.08**	1.23**	0.11*	2.22**	1.32**
RF14	4.90**	14.99**	0.42**	2.19**	0.20**	3.57**	4.90**
RF1	-0.68	-2.37**	-0.07*	-0.83*	0.09	-0.44	-0.68
LSD 5%	0.97	1.56	0.06	0.67	0.11	0.53	0.97
LSD 1%	1.29	2.08	0.08	0.90	0.14	0.70	1.29

\*, \*\*Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

Table 4

**Specific combining ability effects of the nine sunflower parents (five RF lines and four CMS lines) for all studied traits (combined data of 2018 and 2019 summer season)**

	Days to 50% flowering	Plant height	Stem diameter	Head diameter	100-seed weight	Seed weight plant <sup>-1</sup>	Seed oil content
A3 × Rf9	-0.58	-5.08**	0.09	-0.05	-0.20	1.19*	0.12
A3 × Rf10	0.58	-2.45	-0.22**	0.36	0.07	-0.08	0.45
A3 × Rf11	0.08	9.90**	-0.01	-1.25	-0.13	-0.59	-2.01**
A3 × Rf14	-0.50	7.30**	0.05	1.06	0.47**	0.66	0.98
A3 × Rf1	0.42	-9.67**	0.08	-0.12	-0.21	-1.18*	0.46
A5 × Rf9	0.22	-9.96**	-0.15*	-0.47	-0.02	-0.17	-0.29
A5 × Rf10	-2.28*	0.78	-0.05	-0.60	0.36**	2.09**	0.97
A5 × Rf11	0.22	7.10**	0.02	0.13	0.05	-1.19*	1.83**

End of the table 4

	Days to 50% flowering	Plant height	Stem diameter	Head diameter	100-seed weight	Seed weight plant <sup>-1</sup>	Seed oil content
A5 × Rf14	2.97**	-3.88*	0.28**	1.17	-0.56**	0.11	-1.87**
A5 × Rf1	-1.12	5.96**	-0.10	-0.22	0.17	-0.85	-0.64
A9 × Rf9	0.68	5.96**	0.01	-0.62	0.12	-0.40	0.35
A9 × Rf10	0.52	2.16	0.33**	-0.28	-0.14	-0.14	-1.84**
A9 × Rf11	0.02	-7.49**	-0.09	0.48	0.06	-0.96	0.13
A9 × Rf14	-1.90	-0.46	-0.20**	0.92	0.00	1.29*	1.21
A9 × Rf1	0.68	-0.17	-0.04	-0.50	-0.04	0.21	0.15
A13 × Rf9	-0.32	9.08**	0.05	1.15	0.09	-0.62	-0.18
A13 × Rf10	1.18	-0.49	-0.06	0.52	-0.30**	-1.87**	0.43
A13 × Rf11	-0.32	-9.51**	0.08	0.65	0.03	2.73**	0.06
A13 × Rf14	-0.57	-2.95	-0.13*	-3.15**	0.10	-2.06**	-0.33
A13 × Rf1	0.02	3.88*	0.06	0.84	0.08	1.82**	0.02
LSD 5%	1.94	3.12	0.11	1.35	0.21	1.06	1.25
LSD 1%	2.59	4.16	0.15	1.80	0.28	1.40	1.67
LSD <sub>5%</sub> gi-gj line	1.23	1.97	0.07	0.85	0.14	0.67	0.79
LSD <sub>5%</sub> gi-gj tester	1.37	2.21	0.08	0.95	0.15	0.75	0.88
LSD <sub>5%</sub> sij-skl	2.75	4.42	0.16	1.91	0.30	1.49	1.77

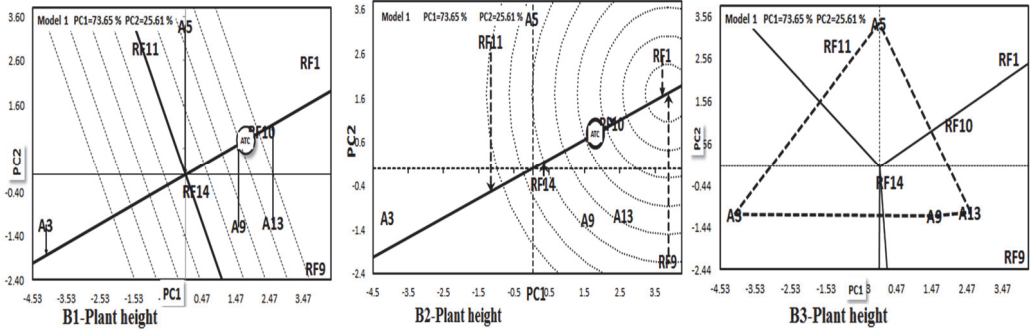
\*, \*\*Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

Table 5

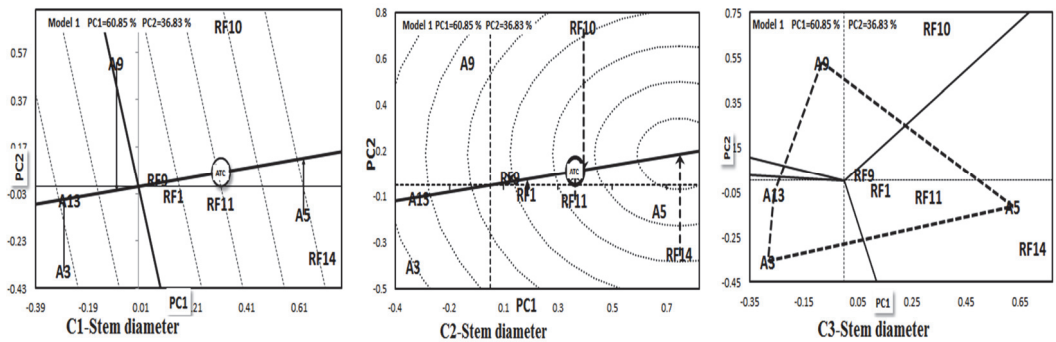
**Mid parent heterosis of 20 sunflower F1 crosses for all studied traits (combined data of 2018 and 2019 summer season)**

	Days to 50% flowering	Plant height	Stem diameter	Head diameter	100-seed weight	Seed weight plant <sup>-1</sup>	Seed oil content
A3 × Rf9	-18.75**	-8.17**	44.09**	30.98**	18.60**	25.21**	6.20**
A3 × Rf10	-20.86**	-20.01**	22.73**	22.34**	14.97**	13.31**	17.86**
A3 × Rf11	-13.10**	-5.11**	51.06**	26.71**	28.37**	18.55**	-0.56
A3 × Rf14	-7.85**	5.14**	59.62**	47.78**	29.86**	20.68**	4.92**
A3 × Rf1	-15.09**	-16.02**	50.00**	21.76**	30.27**	17.09**	5.51**
A5 × Rf9	-5.96**	-6.56**	38.00**	25.06**	20.71**	35.00**	7.19**
A5 × Rf10	-15.07**	-12.43**	43.16**	13.71**	19.59**	31.87**	21.83**
A5 × Rf11	-1.97	-2.35	60.40**	32.91**	29.75**	29.21**	11.98**
A5 × Rf14	9.45**	2.13	78.38**	44.05**	8.69**	31.19**	-1.18
A5 × Rf1	-7.02**	-0.16	47.47**	19.10**	35.53**	30.60**	4.49**
A9 × Rf9	-4.73**	4.66*	37.37**	22.57**	21.76**	27.56**	22.35**
A9 × Rf10	-9.09**	-11.38**	57.45**	13.85**	8.77**	19.36**	27.17**
A9 × Rf11	-2.01	-11.69**	44.00**	34.38**	27.85**	23.45**	20.11**
A9 × Rf14	0.33	4.58*	43.64**	42.16**	17.42**	27.67**	21.02**
A9 × Rf1	-3.07*	-4.23*	40.82**	15.48**	29.01**	26.50**	19.79**
A13 × Rf9	-8.65**	10.65**	42.55**	48.44**	27.55**	34.56**	6.98**
A13 × Rf10	-9.68**	-9.94**	34.83**	31.92**	10.99**	22.23**	19.63**
A13 × Rf11	-4.47**	-9.95**	57.89**	47.95**	34.43**	39.09**	6.59**
A13 × Rf14	1.36	6.47**	50.48**	26.54**	25.23**	26.76**	2.81**
A13 × Rf1	-6.29**	2.11	50.54**	36.58**	39.12**	37.91**	5.87**
LSD 5%	2.38	3.82	0.14	1.65	0.26	1.29	1.53
LSD 1%	3.17	5.09	0.19	2.20	0.35	1.72	2.04

\*, \*\*Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.



**Fig. 2.** Biplot of B1 (average tester coordinate), B2 (ideal tester) and B3 (polygon view) for plant height (combined data of 2018 and 2019 summer season)



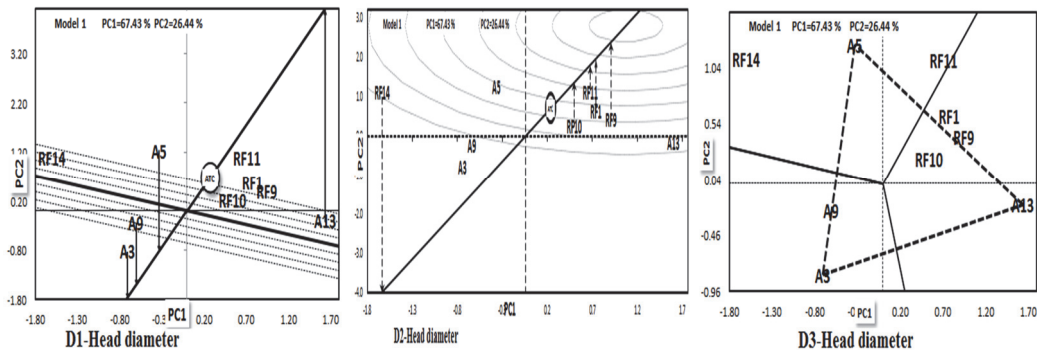
**Fig. 3.** Biplot of C1 (average tester coordinate), C2 (ideal tester) and C3 (polygon view) for stem diameter (combined data of 2018 and 2019 summer season)

The best cross combinations can be produced as the polygon view of a biplot (Fig. 3, C3) pointed out by crossing A5 as good specific combiner with testers RF9, RF1, RF11 and RF14 as well as A9 with RF10. This is consistent with their respective heterosis relative to mid and better parents (Table 5) in traditional analysis.

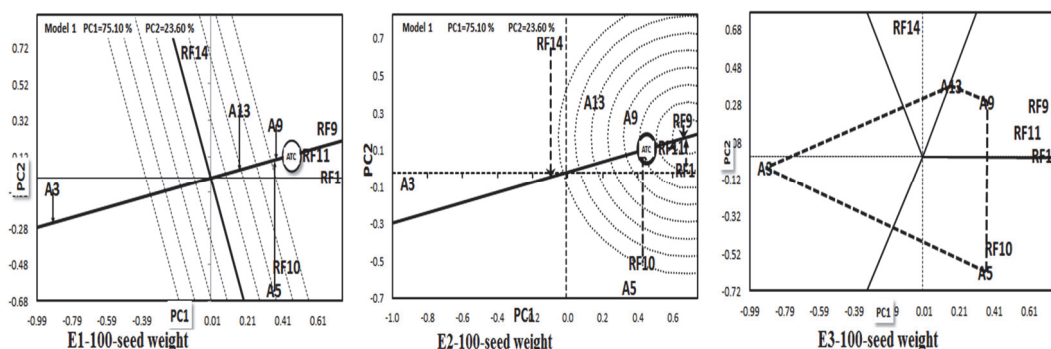
**Head diameter.** Among the parents (Fig. 4, D1), A5 of CMS lines and RF11 (1.93 Discr. and 0.69 Repr.) of RF lines (Fig. 4, D2) proved to be good general combiners for producing the largest head diameter, as they occupied position far away from the origin. Moreover, the remaining lines either RF or CMS depicted the lowest or negative GCA effects by occupying position in the opposite direction. These findings are consistent with their respective GCA effects (Table 3) in traditional analysis (0.81\*\* for CMS lines and 1.23\*\* for RF lines).

Projections of RF and CMS lines onto the ATC ordinate are approximated with their SCA effects. Accordingly, A13 (4.29 Repr.) and A5 (2.07 Repr.) as well as RF14 (5.12 Repr.) and RF9 (1.95 Repr.) were found to be the best SCA effects (Fig. 4, D1 and D2 as well as Table 4).

Genotypes having the largest diameter of head are desirable ones. Therefore, A13 produced desirable cross combination with tester Rf9, RF1 and RF10. On the other hand, A5 resulted in good cross combination especially with RF11 and RF14 (Fig. 4, D3), as proven in numerical heterosis of mid parents (Table 5).



**Fig. 4.** Biplot of D1 (average tester coordinate), D2 (ideal tester) and D3 (polygon view) for head diameter (combined data of 2018 and 2019 summer season)



**Fig. 5.** Biplot of E1 (average tester coordinate), E2 (ideal tester) and E3 (polygon view) for 100-seed weight (combined data of 2018 and 2019 summer season)

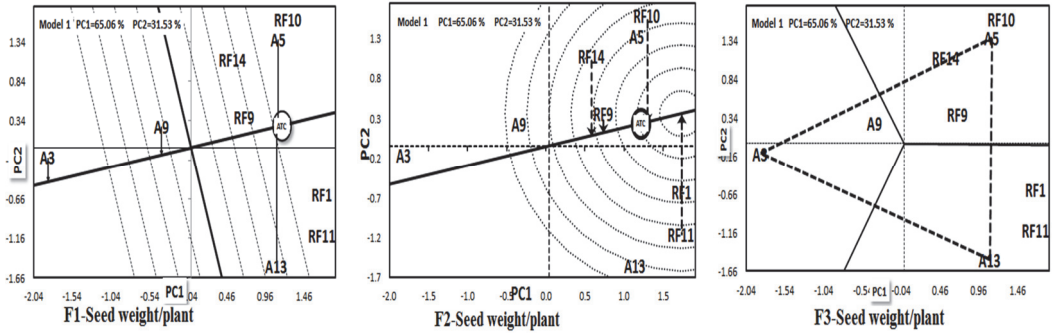
**100-seed weight.** Based on projection onto the ATC abscissa (Fig. 5, E1), A9 (0.38 Discr.) and A13 (0.17 Discr.) of CMS lines, as they occupied position far away from the origin, this agreed well with their respective GCA effects in traditional analysis in Table 3 (with GCA effects of 0.22\*\* and 0.11\*). Similarly, among the tester RF11, (Table 3) were identified as the best general combiners being highly discriminating (0.63) and representative (0.03). And also, this was confirmed by their respective GCA effects in traditional analysis (with GCA effects of 0.11\*\*).

The largest projection of RF and CMS lines, in reference to the largest SCA effects, was detected in A5 (0.72 Repr.) and A13 (0.33 Repr.) of CMS lines as well as RF14 (0.72 Repr.) and RF10 (0.61 Repr.) (Fig. 5, E1 and E2 as well as Table 4).

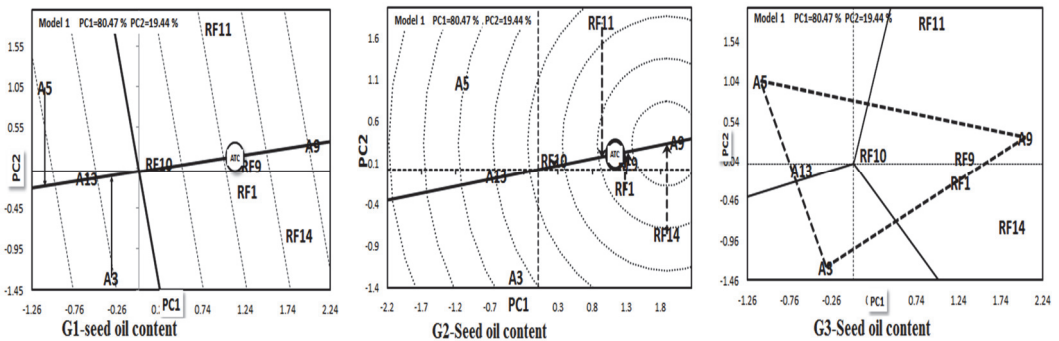
Genotypes having the heaviest weight of 100-seed are desirable ones, therefore, two well defined groups of best cross combinations (Fig. 5, E3) were identified by the polygon view. In the first group, A5 as vertex CMS line was the best mating partners with tester RF1, whereas in the second group A9 and A13 as vertex CMS lines generated superior cross combinations with testers RF1, RF9 and RF11, as proven by numerical heterosis of mid parents (Table 5).

**Seed weight plant<sup>-1</sup>.** The accumulative effect of stem and head diameters as well as 100-seed weight was considerable reflected on seed weight plant<sup>-1</sup>. This revealed by projection of parental lines onto the ATC abscissa (Fig. 6, F1), in reference to GCA





**Fig. 6.** Biplot of F1 (average tester coordinate), F2 (ideal tester) and F3 (polygon view) for seed weight plant<sup>-1</sup> (combined data of 2018 and 2019 summer season)



**Fig. 7.** Biplot of G1 (average tester coordinate), G2 (ideal tester) and G3 (polygon view) for seed oil content (combined data of 2018 and 2019 summer season)

effects, particularly in A5 (1.16 Discr.) and A13 (1.14 Discr.) of CMS lines as well as RF11 (1.74 Discr. and 1.53 Repr.) of RF lines as ideal testers of CMS (Fig. 6, F2), as they occupied a position at a longer distance from the place of origin in the positive direction of ATC abscissa, and this was consistent with their respective GCA effects in traditional analysis (Table 3) (with GCA effects of 1.71\*\* and 0.87\*\* of CMS lines and 2.22\*\* of RF lines), thereby, they are behaved as the best combiner for improvement of seed weight plant<sup>-1</sup>.

The largest SCA effects as the largest projection (Fig. 6, F2 and Table 4) of RF and CMS lines pointed out, was detected in A13 (1.77 Repr.) and A5 (1.09 Repr.) of CMS lines as well as Rf11 (1.53 Repr.) and Rf10 (1.32 Repr.) of RF lines.

Genotypes having the heaviest weight of plant seed are desirable. The polygon divided the biplot into four well defined sectors (Fig. 6, F3). A13 being vertex genotype interacted positively with the testers RF1 and RF11 whereas A5 was the best mating partners with testers Rf9, Rf14 and RF10, and this was consistent with their respective heterosis of mid (Table 5).

**Seed oil content.** Projection of parental lines onto the ATC abscissa (Fig. 7 G1) approximates their GCA effects. Therefore, A9 (2.06 Discr.) of CMS lines and RF10 (0.23 Discr. and 0.07 Repr.) as ideal tester of CMS (Fig 7 G2), as they occupied the position far away from the origin in the positive direction on ATC x-axis hence considered as good general combiner for improving seed oil content, and this was consistent with their respective GCA effects (Table 3) in traditional analysis (with GCA effects of 2.35\*\* of CMS lines and 3.59\*\* of RF lines).

The projection of parental lines on ATC y-axis refers to SCA effects. Accordingly, A3 (1.24 Repr.) and A5 (1.22 Repr.) of CMS lines as well as RF11 (1.62 Repr.) and Rf14 (1.10 Repr.) had the highest SCA effects, as they had the largest projections onto ATC ordinate (Fig. 7, G and Table 4).

The polygon (Fig. 7, G3) identified the best mating partners i.e.A9 was identified as the best specific combiners, hence it showed potential to produce superior and heterotic cross combination with all testers. And this is consistent with their respective heterosis relative to mid parents (Table 5).

It could be noticed from Table 6, that the dominance genetic variance ( $\delta_D^2$ ) as a portion of the total genetic variance and relative importance of SCA was larger than the additive genetic variance ( $\delta_A^2$ ) and relative importance of GCA for all evaluated traits except days to 50% flowering, also confirmed by greater ratio of ( $\bar{a}$ ) than unity for all studied traits except days to 50% flowering, revealed the greater importance of dominance gene action. This was further supported by low narrow sense heritability, as seen in Table 6, for 100-seed weight (8.53%), head diameter (11.42%), plant height (13.34%), stem diameter (15.77%), seed oil content (23.80%) and seed weight plant<sup>-1</sup> (25.05%) and the reverse was true in days to 50% flowering (48.59%). Heritability in broad sense along with expected genetic advance as *per cent* mean, as shown in Table 6, is considered as an effective selection tool for improving yield of sunflower than heritability estimates alone as confirmed by Johnson *et al.* [17]. This may be due to additive variance as can be predicted in the offspring of a selection cross in a systematic fashion. As presented in Table 6, high values of broad heritability coupled with high (more than 20%) values of genetic advance (as % of mean) were detected for stem diameter (33.45%), plant height (24.34%) and head diameter (24.44%), indicating the importance of additive gene effects in the inheritance of these traits, thus, selection for these traits would be effective. High heritability coupled with moderate (10...20%) expected genetic advance as *per cent* mean were recorded for 100-seed weight (18.48%), seed weight plant<sup>-1</sup> (14.65%), seed oil content (12.87%) and days to 50% flowering (12.77%), indicated that these Therefore, it could be concluded that, greater importance of non-additive gene action in their expression and indicated very good prospect for the exploitation of non-additive genetic variation for most traits through hybrid sunflower breeding.

Table 6

**The relative magnitudes of different genetic parameters in F1 crosses for all studied traits (combined data of 2018 and 2019 summer season)**

	Days to 50% flowering	Plant height	Stem diameter	Head diameter	100-seed weight	Seed weight plant <sup>-1</sup>	Seed oil content
$\delta_A^2$	6.42	39.18	0.02	0.77	0.03	3.45	1.86
$\delta_D^2$	3.97	247.18	0.11	4.60	0.27	9.50	4.80
$\delta_G^2$	10.39	286.36	0.13	5.36	0.30	12.95	6.66
$\delta_P^2$	13.21	293.65	0.14	6.72	0.33	13.78	7.83
H <sub>a</sub> %	78.64	97.52	93.08	79.78	89.70	93.96	85.06
H <sub>n</sub> %	48.59	13.34	15.77	11.42	8.53	25.05	23.80
( $\bar{a}$ )	1.11	3.55	3.13	3.46	4.36	2.35	2.27
*GCA %	0.62	0.14	0.17	0.14	0.10	0.27	0.28
**SCA %	0.38	0.86	0.83	0.86	0.90	0.73	0.72
GAM	12.77	24.34	33.45	24.44	18.48	14.65	12.87

\*, \*\*Significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

## Conclusion

In conclusion, A5 and A13 of CMS lines and RF11 and Rf14 of RF lines proved to be the best general combiners for seed weight plant<sup>-1</sup> and one or more of its attributes traits. These lines would be used to develop hybrid seed on commercial scale. Moreover, the best cross combinations A13 × RF11, A13 × RF1 and A5 × RF9 performed better than other developed hybrids in view of seed weight plant<sup>-1</sup> and one or more of its attributes, hence these F1 hybrids could further be used on commercial exploitation.

## References

1. Yan W, Hunt LA, Sheng Q, Szlavnic Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 2000; 40(3):597—605. doi: 10.2135/cropsci2000.403597x
2. Hladni N, Skoric D, Balalic KM, Sakac MZ, Miklie V. Heterosis for agronomically important traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia.* 2007; 30(47):191—198. doi: 10.2298/hel10747191h
3. Škorić D, Jocić S, Hladni N, Vannozi GP. An analysis of heterotic potential for agronomically important traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia.* 2007; 30 (46): 55—74.
4. Hladni N, Miklic V, Jocić S, Balalic MK, Skoric D. Mode of inheritance and combining ability for plant height and head diameter in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Genetika.* 2014; 46(1):159—168. doi: 10.2298/GENSR1401159H
5. Memon S, Baloch MJ, Baloch GM, Keerio MI. Heritability and correlation studies for phenological, seed yield and oil traits in Sunflower. *Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences.* 2014; 30(2):159—171.
6. Singh RK, Chaudhary BD. *Biometrical methods in quantitative genetics analysis.* New Delhi: Kalyani Publishers; 1985.
7. Kempthorne O. *An Introduction to Genetic Statistics.* New York: John Wiley and Sons Inc; 1957.
8. Comstock RE, Robinson HF. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics.* 1948; 4(4):254—266. doi: 10.2307/3001412
9. Yan W, Hunt LA. Biplot analysis of diallel data. *Crop Sci.* 2002; 42(1):21—30. doi:10.2135/cropsci2002.2100
10. Bertoia L, Lopez C, Burak R. Biplot analysis of forage combining ability in maize landraces. *Crop Sci.* 2006; 46(3):1346—1353. doi: 10.2135/cropsci2005.09-0336
11. Sassikumar D, Goplan A, Thirumurugan T. Combining ability analysis in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Tropical Agricultural Research.* 1999; 11:134—142.
12. Khan H, Rahman HU, Ahmad H, Ali H, Inamullah, Alam M. Magnitude of combining ability of sunflower genotypes in different environments. *Pakistan Journal of Botany.* 2008; 40(1):151—160.
13. Andakhor SA, Mastibege N, Rameeh V. Combining ability of agronomic traits in sunflower (*Helianthus annuus* L.) using Line × Tester Analysis. *International Journal of Biology.* 2012; 4(1):89—95. doi: 10.5539/ijb.v4n1p89
14. Abd El-Satar MA, Fahmy RM, Hassan THA. Genetic control of sunflower seed yield and its components under different edaphic and climate conditions. *The 9<sup>th</sup> Plant Breeding International Conference September 2015, Egyptian Journal of Plant Breeding.* 2015; 19(5):103—123 (Special Issue).
15. Abd El-Satar MA. Genetic analysis of half diallel matting with different methods and their comparisons for yield and its associated traits in sunflower under saline soil stress conditions. *Helia.* 2017; 40(66):85—114. doi: 10.1515/helia-2017-0001
16. Kang SA, Khan FA, Ahsan MZ, Chatha WZ, Saeed F. Estimation of combining ability for the development of hybrid genotypes in Sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare.* 2013; 3(1):68—74.

17. Johnson HW, Robinson HF, Comstock RE. Estimates of genetic and environmental variability in Soybean. *Agron J.* 1955; 47:314—318.
18. AOAC. *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists; 1990.

#### About authors:

*Ahmed M.A.* — Oil Crops Research Department, Field Crops Research Institute, Agricultural Research Center, 9 El-Gamaa St., Giza, 12619, Egypt

*Abdelsatar Mohamed Ali* — Senior Researcher, Oil Crops Research Department, Field Crops Research Institute, Agricultural Research Center, 9 El-Gamaa St. Giza, 12619, Egypt, e-mail: mohamedtemraz1@yahoo.com

*Attia M.A.* — Oil Crops Research Department, Field Crops Research Institute, Agricultural Research Center, 9 El-Gamaa St. Giza, 12619, Egypt

*Abeer A.A.* — Seed Technology Research Department, Field Crops Research Institute, Agricultural Research Center, 9 El-Gamaa St. Giza, 12619, Egypt

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-374-389

Научная статья

## **GGE biplot анализ линии с помощью тестера на урожайность семян и ее признаков в подсолнечнике**

**М.А. Ахмед<sup>1</sup>, Мохамед А. Абдельсатар<sup>1\*</sup>,  
М.А. Агтия<sup>1</sup>, А.А. Абир<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Отдел исследований масличных культур,  
Научно-исследовательский институт полевых культур,  
Центр сельскохозяйственных исследований, *Ги́за, Египет*

<sup>2</sup>Отдел исследований технологии семян, Институт полевых культур,  
Центр сельскохозяйственных исследований, *Ги́за, Египет*

\*mohamedtemraz1@yahoo.com

**Аннотация.** Девять генетически разнообразных перспективных линий подсолнечника по основным признакам урожайности были скрещены с тестером в весеннем сезоне 2018 г. для оценки их продуктивности по нескольким признакам. Родительские формы подсолнечника имели четыре типа ЦМС, а именно L1 (A3), L2 (A5), L3 (A9) и L4 (A13) (далее именуемые «Линии» (женские линии)) и пять генотипов подсолнечника T1 (RF9), T2 (RF10), T3 (RF11), T4 (RF14) и T5 (RF1) в качестве мужских линий (далее именуемые «Тестер»). В летнем сезоне 2018 и 2019 гг. девять родительских форм вместе с их семенами 20 F1 были проанализированы и получили оценку на Станции сельскохозяйственных исследований Shandaweel (ARC, Мухафаза Сохаг, Египет) с использованием рандомизированных полных блоков с тремя повторностями. Средние значения показателей для родительских форм (P), кроссов (C), линий (L), тестеров (T), P по сравнению с C и (L × T) были значимыми для всех изученных признаков. Большая величина неаддитивного действия гена, чем аддитивного, была выявлена при больших соотношениях (GCA/SCA), чем всех изученных признаков (за исключением периода до 50% цветения). A5 и A13 ЦМС линии и RF11 и RF14 линий — тестеры оказались лучшими родительскими формами по показателю массы семян с одного растения. Кроме того, были

выявлены лучшие кросс-комбинации A13 × RF11, A13 × RF1 и A5 × RF9, по сравнению с другими получившимися гибридами по признаку массы семян с одного растения и одного или нескольких сопутствующих признаков. Таким образом, полученные гибриды F1 могут в дальнейшем использоваться в коммерческих целях.

**Ключевые слова:** подсолнечник, *Helianthus annuus* L., линия по тестеру, комбинирующая способность, гетерозис, действие гена

**История статьи:**

Поступила в редакцию: 12 октября 2019 г. Принята к публикации: 15 ноября 2019 г.

**Для цитирования:**

Ahmed M.A., Abdelsatar M.A., Attia M.A., Abeer A.A. GGE biplot analysis of Line by tester for seed yield and its attributes in sunflower // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 374—389. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-374-389

**Об авторах:**

Ахмед М.А. — отдел исследований масличных культур, Научно-исследовательский институт полевых культур, Центр сельскохозяйственных исследований, Египет, 12619, Гиза ул. Эль-Гамаа, д. 9

Абдельсатар Мохамед Али — старший научный сотрудник, отдел исследований масличных культур, Научно-исследовательский институт полевых культур, Центр сельскохозяйственных исследований, Египет, 12619, Гиза ул. Эль-Гамаа, д. 9, e-mail: mohamedtemraz1@yahoo.com

Аттия М.А. — отдел исследований масличных культур, Научно-исследовательский институт полевых культур, Центр сельскохозяйственных исследований, Египет, 12619, Гиза ул. Эль-Гамаа, д. 9

Абир А.А. — отдел исследований семенных технологий, Научно-исследовательский институт полевых культур, Центр сельскохозяйственных исследований, Египет, 12619, Гиза ул. Эль-Гамаа, д. 9

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-390-402

Научная статья / Research article

## Quantitative determination of trypsin inhibitor as a breeding marker in maize varieties with different resistance to fungal diseases

Galina V. Shekhvatova<sup>1\*</sup>, Viktor V. Ashin<sup>2</sup>,  
Elena F. Sotchenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Production Company Gamma,  
*Pushchino, Russian Federation*

<sup>2</sup>Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms RAS,  
*Pushchino, Russian Federation*

<sup>3</sup>Russian Research Institute of Maize, *Pyatigorsk, Russian Federation*

\*Correspondent author: [shgal06@gmail.com](mailto:shgal06@gmail.com)

**Abstract.** Determination of plant resistance to fungal pathogens is an important breeding component. Thus, the study of protein profiles from corn kernels (13 genotypes) revealed a constitutively pronounced 14 kDa protein, trypsin inhibitor (TI), which is present at a relatively high level of concentration in seven *Aspergillus flavus* — resistant maize lines, but at low concentrations or is absent in six sensitive lines. The 14 kDa trypsin inhibitor (TI) also showed antifungal activity against other mycotoxigenic species. In this regard, the task was to determine the content of TI in varieties of maize with known properties, resistance, or sensitivity to such fungal pathogens of maize as head smut, common smut, and Fusarium stalk rot. According to the data obtained, the content of TI varies in different varieties and can vary by 4 times. However, in disease-resistant varieties its content is increased, which may be the primary marker of resistance of the variety to fungal pathogens.

**Key words:** maize, trypsin inhibitor, trypsin-agarose, fungal pathogens, head smut, common smut, Fusarium stalk rot

### Article history:

Received: 9 July 2019. Accepted: 04 November 2019

### For citation:

Shekhvatova GV, Ashin VV, Sotchenko EF. Quantitative determination of trypsin inhibitor as a breeding marker in maize varieties with different resistance to fungal diseases. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):390—402. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-390-402

© Шехватова Г.В., Ашин В.В., Сотченко Е.Ф., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Определение количества ингибитора трипсина как маркера селекции сортов кукурузы с различной устойчивостью к грибковым заболеваниям

Г.В. Шехватова<sup>1\*</sup>, В.В. Ашин<sup>2</sup>, Е.Ф. Сотченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Научно-производственная фирма «Гамма»,  
Пушино, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН,  
Пушино, Российская Федерация

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы,  
Пятигорск, Российская Федерация

\*shgal06@gmail.com

**Аннотация.** Устойчивость растений к патогенным грибам является важной селекционной составляющей. Механизмы устойчивости очень разнообразны и могут включать в себя взаимодействия ферментов и их ингибиторов. В связи с этим проведено сравнение содержания ингибитора трипсина (ИТ), как возможного маркера селекции, в зрелых зернах сортов кукурузы с известной устойчивостью к пыльной головне, пузырчатой головне и стеблевой гнили. В качестве изучаемых объектов взяты 6 устойчивых и 12 чувствительных сортов. Для гарантированного извлечения из экстрактов молотых зерен кукурузы только ИТ применялась колоночная аффинная хроматография на трипсин-агарозе в аналитическом варианте. В результате выяснилось, что содержание ИТ варьирует внутри обеих групп сортов кукурузы: в устойчивой группе — максимум 347 и минимум 162 мкг/г, в чувствительной группе — максимум 200 и минимум 84 мкг/г. Соотношения максимумов к минимумам (2,3) одинаковы в обеих группах, но максимальное и минимальное содержание почти в два раза выше в группе устойчивых сортов кукурузы. В среднем в устойчивых сортах кукурузы содержание ИТ выше в 1,7 раза. Полученные данные подтверждают возможность использования содержащегося в кукурузных зернах ИТ в качестве маркера при выведении новых сортов кукурузы, устойчивых к пыльной головне, пузырчатой головне и стеблевой гнили.

**Ключевые слова:** кукуруза, ингибитор трипсина, трипсин-агароза, грибковые патогены, пыльная головня, пузырчатая головня, стеблевые гнили.

### История статьи:

Поступила в редакцию 9 июля 2019 г. Принята к публикации 04 ноября 2019 г.

### Для цитирования:

Шехватова Г.В., Ашин В.В., Сотченко Е.Ф. Определение количества ингибитора трипсина как маркера селекции сортов кукурузы с различной устойчивостью к грибковым заболеваниям // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 390—402. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-390-402

## Introduction

Plants are exposed to a large number of infectious pathogenic fungi. For maize, common smut, head smut, stem rot, fusarium disease are the most common fungal pathogens in the Russian Federation. While in countries with a hot and arid climate, pathogens of the genus *Aspergillus* are most common, the effects of which are most fully studied.

Thus, a study of protein profiles from maize grains (13 genotypes) revealed a constitutively expressed 14 kDa protein, a trypsin inhibitor (TI), which was present in relatively high concentrations in seven maize *A. flavus* resistant lines, but in low concen-

trations or was absent altogether in six sensitive lines [1]. 14 kDa TI also showed antifungal activity against other mycotoxicogenic species [2].

Although plants do not have an immune system, they use protective mechanisms, including the synthesis of low molecular weight compounds, proteins and peptides with antifungal activity. To date, 13 classes of antifungal proteins are known, among them PR-1 proteins, 1,3- $\beta$ -glucanases, chitinases, chitin-binding proteins, thaumatin-like proteins, defensins, cyclophilin-like proteins, proteinase inhibitors and other proteins [3].

Proteinase inhibitors are an integral part of protection system against pests and diseases [4]. It was shown that pathogenic fungi *Fusarium* and *Helminthosporium* secrete enzymes into the environment that break down protein and synthetic substrates. Different types of fungi are characterized by unequal activity of extracellular proteinases. The high content of extracellular proteinase inhibitors of the pathogenic fungi *Fusarium* and *Helminthosporium* in the seeds of pea, buckwheat, and corn can be one of the important factors ensuring the resistance of these crops to root rot [5].

Similarly, TI content of 14 kDa in maize seeds was shown to correlate with resistance to *A. flavus* disease [3] and, therefore, aflatoxin accumulation.

In addition to trypsin-inhibiting activity, TI from 14 kDa maize was shown to have alpha-amylase activity, and, when added to the nutrient medium, it suppressed growth of conidia and growth of phytopathogen hyphae *Aspergillus flavus*, *Asp. paprasiticus*, *F. moniliforme*, and also showed antifungal activity against other mycotoxicogenic species [2, 6].

We held experiments to study TI content of 14 kDa in maize samples with known properties, resistance or sensitivity to fungal pathogens, such as head smut (pathogen — *Sphacelotheca reiliana*), common smut (pathogen — *Ustilago maydis*, *U. zea*) and stalk rot of maize (pathogen — *Fusarium moniliforme* fungus).

## Materials and methods

**Object of study.** Maize varieties with known properties of resistance (sensitivity) to fungal pathogens (head smut, common smut and stalk rot) were provided from Russian Research Institute of Maize in Pyatigorsk. Six varieties resistant to fungal infections and 12 varieties sensitive to fungal pathogens were investigated.

**Sample preparation.** The seeds were ground, each maize sample (10 g) was extracted with 20 ml of a 0.2 M NaCl solution, stirred for 2.5 hours, then filtered, and approximately 15 ml of extract was obtained. To each sample, 6 g of ammonium sulfate (60% concentration) was added, left in the refrigerator for 18 hours overnight. Then it was centrifuged for 10 minutes, the precipitate was dissolved in 5 ml of buffer (20 mM Tris-HCl, 0.15 M NaCl, pH 6,8) and used for application on trypsin agarose or on HPLC.

**Trypsin agarose affinity chromatography.** An affinity sorbent, trypsin agarose, was chosen as the isolation method [7]. Trypsin agarose was obtained by immobilizing TPCK trypsin on BrCN agarose.

To quantify the method, a standard sample of 14 kDI TI, 200  $\mu$ g in 1 ml of equilibration buffer was used.

Samples of 1.2 ml of each extract were applied to a trypsin-agarose column (4 ml) at a rate of 0.5 ml/min. After washing with equilibration buffer (10 mM Tris-HCl, 0.3 M NaCl, pH 7.0), an elution with 0.15 M acetic acid was performed.



**HPLC (hydrophobic chromatography).** Sample analysis was performed on an RP-304 (250×4.6) Bio Rad column. The following conditions were used: 3' — 0% CH<sub>3</sub>CN; 40' — 100% CH<sub>3</sub>CN; 50' — 100% CH<sub>3</sub>CN, 65' — 0% CH<sub>3</sub>CN.

200 µg of 14 kDI TI was previously used as a standard.

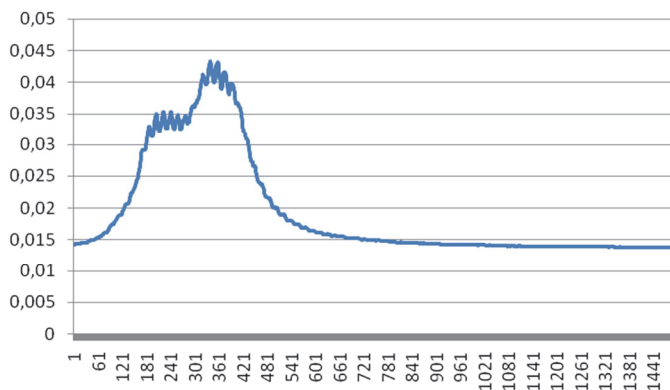
**Electrophoresis in page.** SDS-PAGE 15% gel electrophoresis was used to analyze samples.

### Results

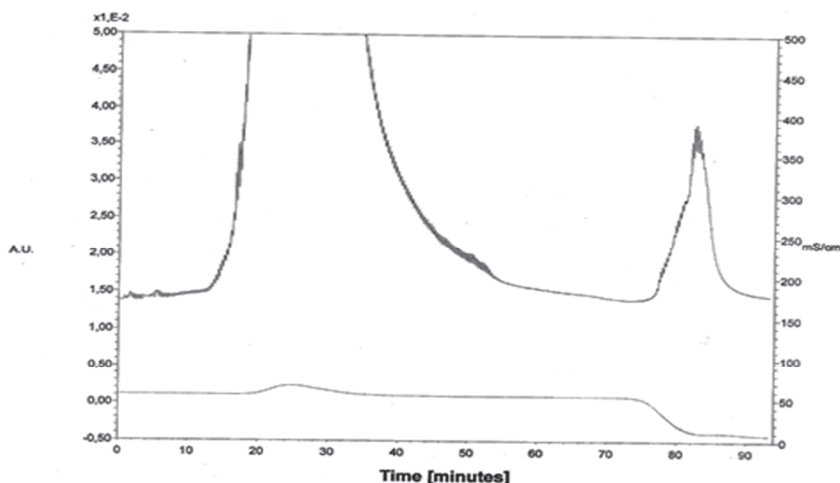
6 smut-resistant maize varieties and 12 varieties susceptible to smut and stalk rot were studied. The samples of maize grains with known properties of resistance (sensitivity) to fungal pathogens were provided from Russian Research Institute of Maize in Pyatigorsk.

Peak areas obtained by trypsin-agarose chromatography were calculated by mathematical methods. The amount of 14 kDa TI was determined on the basis of calibration; for this, a sample containing 200 µg TI was used (Fig. 1).

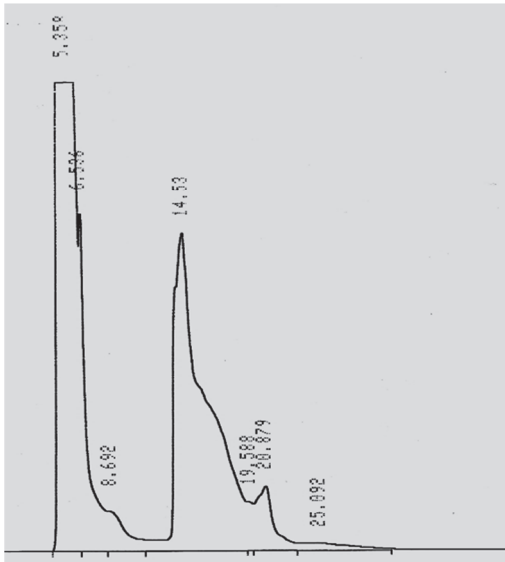
A typical chromatography picture of extracts of maize kernels on trypsin agarose is shown in Fig. 2.



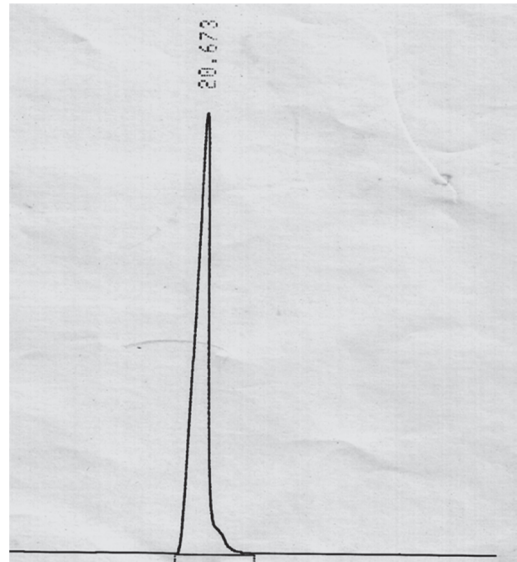
**Fig. 1.** Standard chromatography curve on trypsin-agarose. In this case, 200 µg of 14 kDa TI is applied for calibration



**Fig. 2.** Typical chromatography curve of maize grains extract on trypsin-agarose: second peak — TI elution



**Fig. 3.** Typical elution profile of maize grain extract on HPLC



**Fig. 4.** 14 kDa trypsin inhibitor as a standard in HPLC (200 µg)

According to HPLC, 4 extracts of different maize varieties were studied (Fig. 3, 4). The following results were obtained:

- 1st sample — 4.14% 14 kDa TI (resistant to *Sphacelotheca*, R);
- 2nd sample — 0.09% 14 kDa TI (susceptible to *Sphacelotheca*, S);
- 3rd sample — 3.40% 14 kDa TI (resistant to *Ustilago*, R);
- 4th sample — 3.60% 14 kDa TI (susceptible to *Ustilago*, S).

Subsequently, an analysis of extracts of different varieties of maize grains was carried out (R — resistant varieties, S — susceptible) using affinity chromatography on trypsin agarose (Table 1). An additional 18 samples were examined. A standard sample containing 200 µg of 14 kDI TI was used for calibration.

Table 1

**Results of screening maize varieties by quantity of 14 kDa trypsin inhibitor**

Elution peak area	Calculated TI per 1 g of corn grains	Resistance to fungal diseases
11.3	290 mcg	R <i>Ustilago</i> (580/14)
6.85	174 mcg	VR <i>Sphacelotheca</i> (4716/11)
8.94	228 mcg	R <i>Ustilago</i> (3867/11)
13.59	347 mcg	R <i>Ustilago</i> (3941/11)
6.3	162 mcg	VR <i>Sphacelotheca</i> (1358/12)
10.9	278 mcg	VR <i>Sphacelotheca</i> (4683/11)
3.29	84 mcg	S <i>Ustilago</i> , <i>Fusarium</i> (2617/09)
4.53	115 mcg	S <i>Fusarium</i> 2597/09
3.59	86 mcg	S <i>Sphacelotheca</i> П2/27 2013
6.35	162 mcg	S <i>Sphacelotheca</i> (3398/14)
5.83	149 mcg	S <i>Fusarium</i> (2613/09)
7.73	197 mcg	S <i>Ustilago</i> (2599/09)
7.6	190 mcg	S <i>Ustilago</i> (2075/12)
8.09	200 mcg	S <i>Ustilago</i> (2613/09)
5.8	140 mcg	S <i>Ustilago</i> (1200/13)
5.5	132 mcg	S <i>Ustilago</i> (3358/14)
5.7	138 mcg	S <i>Ustilago</i> (1506/14)
7.7	190 mcg	S <i>Ustilago</i> (605/12)
7.83	200 mcg	TI, standard sample

## Results and discussion

Earlier [1], in the study of maize grain extracts (13 genotypes), the presence of constitutive 14 kDa TI at a relatively high concentration level was shown in seven *A. flavus* resistant varieties of maize, but in six susceptible varieties TI was present in low concentration or was absent altogether.

The mechanism of action of TI against fungal growth may be partially due to the inhibition of fungal amylase, which restricts access of *A. flavus* to simple sugars [5], which is necessary not only for the growth of pathogenic fungi, but also for their production of toxins. TI also demonstrated antifungal activity against other mycotoxigenic species [2].

In [6], TI content was studied in different varieties of Indian maize, resistant and susceptible to *A. Parasiticus*, the data are shown in Table 2.

Proteomic analysis of wheat germ proteins and endosperm proteins of maize varieties resistant and susceptible to *Aspergillus flavus*, separated by two-dimensional electrophoresis (2 D PAGE), showed that there were 5 more constitutive marker proteins, namely — storage proteins (globulin 1 and globulin 2), proteins of late embryogenesis (LEA), proteins associated with drought (LEA3 and LEA14) or osmotic stress (WSI18 and aldose reductase) and proteins associated with heat stress (HSP16.9). Aldose reductase activity, measured in resistant and susceptible genotypes before and after infection, indicates the importance of constitutive levels of this enzyme for resistance [7].

Table 2

Trypsin inhibitor concentration in Indian maize varieties [6]

Variety	Trypsin inhibitor concentration in Indian maize varieties	Response to <i>A. parasiticus</i> infections
LM-6	242.2	Resistant
P(Y)S-8-185-6-B8B	258	
GY-37-1-328	420	
CML-142	421-2	
CML-176	90	Susceptible
Pob-24-FSRS-C-1	90	
Hyd-9745	132	
Maduri	134	
CML-185	158	
CML-430	188	
CML-291	266	Moderately susceptible
CML-161	36	
African tail	130	
CML-150	130	
MPQ-13	131	
Pob31(ALM) HHH-XB	132	
Local	190.8	
Shaktiman-1	211.6	
CM-119	302	
Panchaganga	356	

Most proteomic studies are related to resistance to genus *Aspergillus* (*flavus* and *parasiticus*) [8]; our studies of the content of TI in different varieties of maize resistant (susceptible) to smut and stalk rot showed that the number of TI was increased in resistant varieties and reduced in susceptible varieties, however, there were intermediate variants, called in the literature as “moderately susceptible” [6].

### Conclusions

Based on the importance of presence of proteinase inhibitors in plants, various maize varieties were screened for trypsin inhibitor content. Isolation of TI was performed using an affinity sorbent, trypsin agarose.

Estimating the amount of TI in maize grains can serve as a primary marker of resistance (susceptibility) to fungal pathogens such as smut and stalk rot. The number of TIs is increased in resistant varieties and reduced in susceptible varieties, but there are also intermediate variants — varieties, which are called moderately susceptible in the literature.

### Введение

Растения подвергаются воздействию большого количества инфекционных патогенных грибов. Для кукурузы наиболее распространенными грибковыми патогенами на территории РФ являются пыльная головня, пузырчатая головня, стеблевые гнили, фузариоз. В то время как в странах с жарким и засушливым климатом наиболее распространены патогены рода *Aspergillus*, воздействие которых наиболее полно изучено.

Так, исследование профилей белка из зерен кукурузы (13 генотипов) выявили конститутивно-выраженный 14 кДа белок, ингибитор трипсина (ТИ), который присутствовал в относительно высоких концентрациях в семи устойчивых к *A. flavus* линиях кукурузы, но в низких концентрациях или отсутствовал вообще в шести чувствительных линиях [1]. 14 кДа ТИ также проявлял антигрибковую активность против других микотоксикогенных видов [2].

Хотя растения не имеют иммунной системы, они используют защитные механизмы, включающие синтез низкомолекулярных соединений, белков и пептидов, имеющих антигрибковую активность. К настоящему времени известно 13 классов антигрибковых белков, среди них можно отметить PR-1 белки, 1,3-β-глюканазы, хитиназы, хитин-связывающие белки, тауматин подобные белки, дефензины, циклофилин-подобные белки, ингибиторы протеиназ и другие белки [3].

Ингибиторы протеиназ являются составной частью системы защиты от вредителей и болезней [4]. Было показано, что патогенные грибы *Fusarium* и *Helminthosporium* выделяют в окружающую среду ферменты, расщепляющие белковые и синтетические субстраты. Разные виды грибов характеризуются неодинаковой активностью внеклеточных протеиназ. Высокое содержание ингибиторов внеклеточных протеиназ патогенных грибов *Fusarium* и *Helminthosporium* в семенах гороха, гречихи и кукурузы может служить одним из важных факторов, обеспечивающих устойчивость этих культур к поражению корневыми гнилями [5].

Аналогично, было показано, что содержание ИТ 14 кДа в семенах кукурузы коррелирует с устойчивостью сортов к заболеванию *A. flavus* [3] и, соответственно, накоплению афлатоксина.

ИТ из кукурузы 14 кДа, как было показано, помимо трипсин-ингибирующей активности, обладает активностью альфа-амилазы, и, будучи добавленным в питательную среду, он подавлял прорастание конидий и рост гиф фитопатогенов *Aspergillus flavus*, *Asp. paprasiticus*, *F. moniliforme*, а также проявлял антигрибковую активность против других микотоксикогенных видов [2, 6].

Нами была предпринята экспериментальная работа по исследованию содержания ИТ 14 кДа в образцах кукурузы с заведомо известными свойствами, устойчивости или чувствительности к грибковым патогенам, таким как пыльная головня (возбудитель — *Sphacelotheca reiliana*), пузырчатая головня (возбудитель болезни — *Ustilago maydis*, *U. zaeae*) и стеблевые гнили кукурузы (возбудитель — гриб *Fusarium moniliforme*).

### Материалы и методы

**Объект исследования.** Сорты кукурузы с известными свойствами устойчивости (чувствительности) к грибковым патогенам (пыльная головня, пузырчатая головня, стеблевые гнили) были предоставлены из ВНИИ кукурузы г. Пятигорск. Были исследованы 6 сортов, устойчивых к грибковым инфекциям и 12 сортов, чувствительных к грибковым патогенам.

**Подготовка образцов.** Семена размалывали, каждый образец кукурузы (10 г) экстрагировали 20 мл 0,2 М раствора NaCl, перемешивали 2,5 ч, затем фильтровали, получали примерно по 15 мл экстракта. К каждому образцу добавляли по 6 г сульфата аммония (60% насыщения), оставляли в холодильнике на ночь на 18 ч. Затем центрифугировали 10 мин, осадок растворяли в 5 мл буфера (20 мМ трис-HCl, 0,15 М NaCl, pH 6,8). Использовали для нанесения на трипсин-агарозу или на ВЭЖХ.

**Аффинная хроматография на трипсин-агарозе.** В качестве метода выделения был выбран аффинный сорбент — трипсин-агароза [7]. Трипсин-агароза получена иммобилизацией ТРСК-трипсина на ВrCN-агарозе.

Для количественной оценки метода использовали стандартный образец 14 кДа ТИ, 200 мкг в 1 мл уравнивающего буфера.

Образцы по 1,2 мл каждого экстракта наносили на колонку с трипсин-агарозой (4 мл) со скоростью 0,5 мл/мин. После промывки уравнивающим буфером (10 мМ трис-HCl, 0,3 М NaCl, pH 7,0) проводили элюцию 0,15 М раствором уксусной кислоты.

**ВЭЖХ (гидрофобная хроматография).** Анализ образцов проводили на колонке RP-304 (250x4,6) Bio Rad. Использовали следующие условия: 3' — 0% CH<sub>3</sub>CN; 40' — 100% CH<sub>3</sub>CN; 50' — 100% CH<sub>3</sub>CN, 65' — 0% CH<sub>3</sub>CN.

200 мкг 14 кДа ТИ предварительно использовали в качестве стандарта.

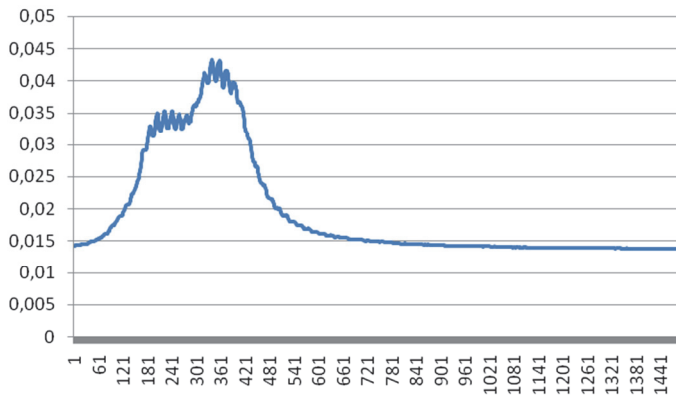
**Электрофорез в ПААГ.** SDS-PAGE электрофорез в 15% геле использовали для анализа образцов.

## Результаты

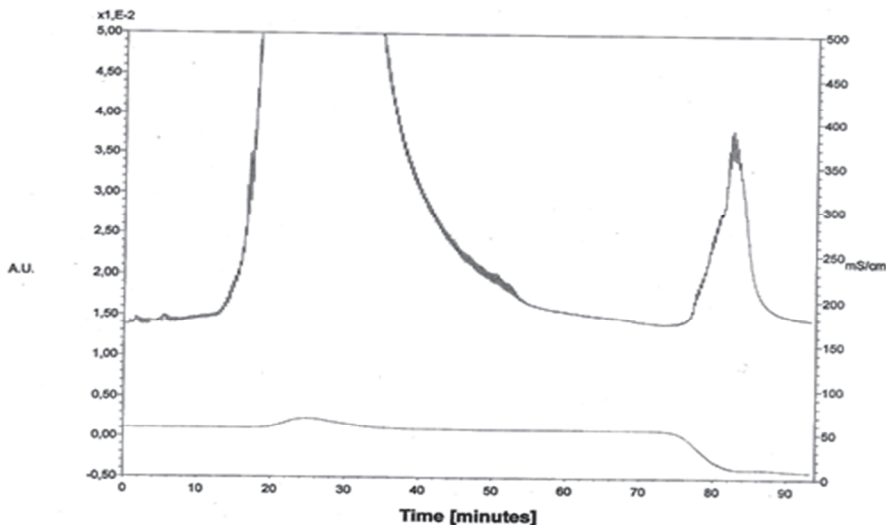
Исследовано 6 устойчивых к пузырчатой головне и пыльной головне и 12 сортов, неустойчивых к пузырчатой головне, пыльной головне и стеблевым гнилям. Данные образцы зерен кукурузы с заведомо известными свойствами устойчивости (чувствительности) к таким грибковым патогенам были предоставлены из ВНИИ кукурузы г. Пятигорск.

Площади пиков, полученных в результате хроматографии на трипсин-агарозе, рассчитывались математическими методами. Количество 14 кДа ТИ определяли на основании калибровки, для этого использовали образец, содержащий 200 мкг ТИ (рис. 1).

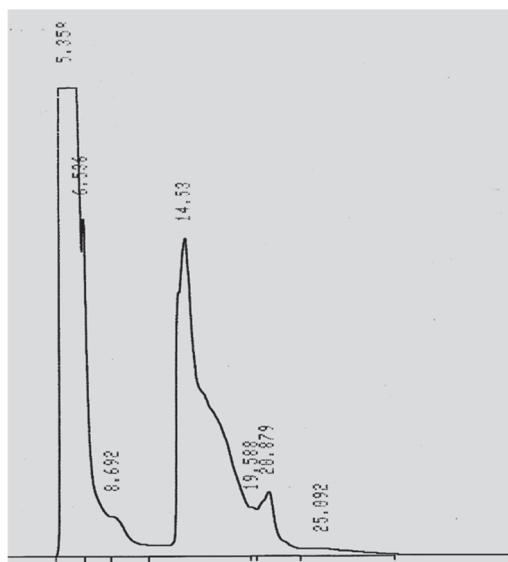
Типичная картина хроматографии экстрактов зерен кукурузы на трипсин-агарозе приведена на рис. 2.



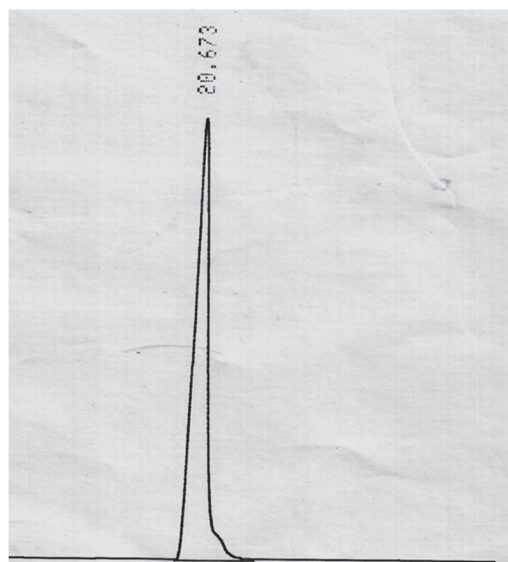
**Рис. 1.** Стандартная кривая хроматографии с трипсин-агарозы. В данном случае нанесено 200 мкг 14 кДа ТИ для калибровки



**Рис. 2.** Типичная кривая хроматографии экстракта зерен кукурузы на трипсин-агарозе: второй пик — элюция ТИ



**Рис. 3.** Типичный профиль элюции экстракта зерен кукурузы на ВЭЖХ



**Рис. 4.** 14 кДа ТИ в качестве стандарта при ВЭЖХ (200 мкг)

Методом ВЭЖХ были исследованы 4 экстракта разных сортов кукурузы (рис. 3, 4). Были получены следующие результаты:

- 1-й образец — 4,14% 14 кДа ТИ (устойчив к пыльной головне, R);
- 2-й образец — 0,09% 14 кДа ТИ (чувствителен к пыльной головне, S);
- 3-й образец — 3,40% 14 кДа ТИ (устойчив к пузырчатой головне, R);
- 4-й образец — 3,60% 14 кДа ТИ (чувствителен к пузырчатой головне, S).

В дальнейшем был проведен анализ экстрактов зерен разных сортов кукурузы (R — устойчивые сорта, S — чувствительные) с использованием аффинной хроматографии на трипсин-агарозе (табл. 1). Было исследовано еще 18 образцов. Для калибровки использовали стандартный образец, содержащий 200 мкг 14 кДа ТИ.

Таблица 1

**Результаты скрининга сортов кукурузы по количеству 14 кДа ТИ**

Площадь пика элюции	Рассчитанное количество ТИ на 1 г зерен кукурузы	Устойчивость к грибковым заболеваниям
11,3	290 мкг	R пuz гол (580/14)
6,85	174 мкг	VR пыльн гол (4716/11)
8,94	228 мкг	R пuz гол (3867/11)
13,59	347 мкг	R пuz гол (3941/11)
6,3	162 мкг	VR пыльн гол (1358/12)
10,9	278 мкг	VR пыльн гол (4683/11)
3,29	84 мкг	S пuz гол, стебл гн (2617/09)
4,53	115 мкг	S стебл гн 2597/09
3,59	86 мкг	S пыльн гол П2/27 2013 г
6,35	162 мкг	S пыльн гол (3398/14)
5,83	149 мкг	S стебл гнили (2613/09)
7,73	197 мкг	S пuz гол (2599/09)
7,6	190 мкг	S пuz гол (2075/12)
8,09	200 мкг	S пuz гол (2613/09)
5,8	140 мкг	S пuz гол (1200/13)
5,5	132 мкг	S пuz гол (3358/14)
5,7	138 мкг	S пuz гол (1506/14)
7,7	190 мкг	S пuz гол (605/12)
7,83	200 мкг	ТИ, стандартный образец

### Обсуждение результатов

Ранее [1], при исследовании экстрактов зерен кукурузы (13 генотипов) было показано присутствие конститутивного 14 кДа ТИ на относительно высоком уровне концентрации в семи устойчивых к *A. flavus* сортах кукурузы, но в шести чувствительных сортах ТИ присутствовал в низкой концентрации или отсутствовал вовсе.

Механизм действия ТИ против грибкового роста может быть частично обусловлен ингибированием грибковой амилазы, приводящим к ограничению доступа *A. flavus* к простым сахарам [5], необходимым не только для роста патогенных грибов, но и для производства ими токсинов. ТИ также продемонстрировал противогрибковую активность и в отношении других микотоксигенных видов [2].

В [6] исследовалось содержание ТИ в разных сортах индийской кукурузы, устойчивых и чувствительных к *A. Parasiticus*, данные приведены в табл. 2.

Протеомный анализ белков зародышей пшеницы и белков эндосперма сортов кукурузы, устойчивых и чувствительных к *Aspergillus flavus*, разделенных методом двумерного электрофореза (2 D PAGE), показал, что имеется еще 5 конститутивных маркерных белков, а именно: запасющие белки (глобулин 1 и глобулин 2), белки позднего эмбриогенеза (LEA), белки, связанные с засухой (LEA3 и LEA14) или осмотическим стрессом (WSI18 и альдозоредуктаза) и белки, связанные с тепловым стрессом (HSP16.9). Альдозоредуктазная активность, измеряемая у резистентных и восприимчивых генотипов до и после заражения, свидетельствует о важности конститутивных уровней этого фермента для устойчивости [7].

Таблица 2

**Скрининг сортов индийской кукурузы устойчивых и чувствительных к *A. parasiticus*, на содержание ТИ [6]**

Сорт	Концентрация ингибитора трипсина в индийских сортах кукурузы	Чувствительность к <i>A. parasiticus</i> infections
LM-6	242.2	Устойчивые
P(Y)S-8-185-6-B8B	258	
GY-37-1-328	420	
CML-142	421-2	
CML-176	90	Чувствительные
Pob-24-FSRS-C-1	90	
Hyd-9745	132	
Maduri	134	
CML-185	158	
CML-430	188	
CML-291	266	
CML-161	36	Относительно устойчивые
African tail	130	
CML-150	130	
MPQ-13	131	
Pob31(ALM)	132	
HHH-XB		
Local	190.8	
Shaktiman-1	211.6	
CM-119	302	
Panchaganga	356	



Большинство протеомных исследований связано с изучением устойчивости к роду *Aspergillus* (*flavus* и *parasiticus*) [8]; проведенные нами исследования содержания ТИ в разных сортах кукурузы, устойчивых (чувствительных) к пыльной головне, пузырчатой головне, стеблевым гнилям показали, что количество ТИ повышено в устойчивых сортах и понижено в чувствительных, однако имеются и промежуточные варианты, в литературе такие сорта названы «умеренно чувствительными» [6].

### Выводы

Исходя из важности присутствия ингибиторов протеиназ в растениях предприняли скрининг разных сортов кукурузы на содержание ингибитора трипсина. Выделение ТИ производили с использованием аффинного сорбента — трипсин-агарозы.

Оценка количества ТИ в зернах кукурузы может служить первичным маркером устойчивости (чувствительности) к грибковым патогенам, таким как пыльная головня, пузырчатая головня и стеблевые гнили. Количество ТИ повышено в устойчивых сортах и снижено в чувствительных, однако имеются и промежуточные варианты — сорта, в литературе называемые умеренно чувствительными.

### References

1. Chen ZY, Brown RL, Lax AR, Guo BZ, Cleveland TE, Russin JS. Resistance to *Aspergillus flavus* in corn kernels is associated with a 14-kDa protein. *Phytopathology*. 1998; 88(4):276—281. doi: 10.1094/PHYTO.1998.88.4.276
2. Chen ZY, Brown RL, Lax AR, Cleveland TE, Russin JS. Inhibition of plant-pathogenic fungi by a corn trypsin inhibitor overexpressed in *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol*. 1999; 65(3):1320—1324.
3. Selitrennikoff CP. Antifungal proteins. *Appl Environ Microbiol*, 2001; 67(7):2883—2894. doi: 10.1128/AEM.67.7.2883-2894.2001
4. Zaynutdinova GF. *Belkovye inhibitory ekzogennykh proteinaz v tkanyakh rastenii i ikh fiziologicheskaya rol'* [Protein inhibitors of exogenous proteinases in plant tissues and their physiological role]. [Dissertation] Ufa; 2001. (In Russ).
5. Chen ZY, Brown RL, Russin JS, Lax AR, Cleveland TE. A corn trypsin inhibitor with antifungal activity inhibits *Aspergillus flavus*  $\alpha$ -amylase. *Phytopathology*. 1999; 89:902—907. doi: 10.1094/PHYTO.1999.89.10.902
6. Hajare SS, Hajare SN, Sharma A. Screening of Indian corn varieties for aflatoxin resistance. *BARC News Letter, Founder's Day Special Issue*. 2006; (273):218—230.
7. Lei MG, Reeck GR. Combined use of trypsin-agarose affinity chromatography and reversed — phase high-performance liquid chromatography for the purification of single-chain protease inhibitor from corn seeds. *Journal of Chromatography*. 1986; 363(2):315—321. doi: 10.1016/S0021-9673(01)83751-1
8. Chen ZY, Brown RL, Damann KE, Cleveland TE. Proteomics analysis of kernel embryo and endosperm proteins of corn genotypes resistant or susceptible to *Aspergillus flavus* infection. In: Robens J, Cary JW, Campbell BC. (eds.) *Proceedings of the USDA-ARS Aflatoxin Elimination Workshop held at Yosemite*. 2000. p. 88.
9. Chen ZY, Brown RL, Damann KE, Cleveland TE. Identification of unique or elevated levels of kernel proteins in aflatoxin-resistant maize genotypes through proteome analysis. *Phytopathology*. 2002; 92(10):1084—1094. doi: 10.1094/PHYTO.2002.92.10.1084
10. Mosolov VV, Valueva TA. Proteinase inhibitors and their function in plants: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2005; 41(3):227—246. doi: 10.1007/s10438-005-0040-6

### Библиографический список

1. *Chen Z.-Y., Brown R. L., Lax A.R., Guo B.Z., Cleveland T.E., Russin J.S.* Resistance to *Aspergillus flavus* in corn kernels is associated with a 14-kDa Protein // *Phytopathology*. 1998. Vol. 88. No. 4. P. 276—281. doi: 10.1094/PHYTO.1998.88.4.276
2. *Chen Z.-Y., Brown R.L., Lax A.R., Cleveland T.E., Russin J.S.* Inhibition of plant-pathogenic fungi by a corn trypsin inhibitor overexpressed in *Escherichia coli* // *Appl. Environ. Microbiol.* 1999. No. 65. P. 1320—1324.
3. *Selitrechnikoff C.P.* Antifungal proteins // *Appl. Environ. Microbiol.* 2001. Vol. 67. No 7. P. 2883—2894. doi: 10.1128/AEM.67.7.2883-2894.2001
4. *Зайнутдинова Г.Ф.* Белковые ингибиторы экзогенных протеиназ в тканях растений и их физиологическая роль: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2001.
5. *Chen Z.-Y., Brown R.L., Russin J.S., Lax A.R., Cleveland T.E.* A corn trypsin inhibitor with antifungal activity inhibits *Aspergillus flavus*  $\alpha$ -amylase // *Phytopathology*. 1999. No 89. P. 902—907. doi: 10.1094/PHYTO.1999.89.10.902
6. *Hajare S.S., Hajare S.N., Sharma A.* Screening of indian corn varieties for aflatoxin resistance // *Founder's day*. 2006. No. 273. P. 218—230.
7. *Lei M.-G., Reeck G.R.* Combined use of trypsin-agarose affinity chromatography and reversed — phase high-performance liquid chromatography for the purification of single-chain protease inhibitor from corn seeds // *J. Chrom.* 1986. No. 363. P. 315—321. doi: 10.1016/S0021-9673(01)83751-1
8. *Chen Z.-Y., Brown R.L., Damann K.E., Cleveland T.E.* Proteomics analysis of kernel embryo and endosperm proteins of corn genotypes resistant or susceptible to *Aspergillus flavus* infection // *Proceedings of the USDA-ARS Aflatoxin Elimination Workshop held at Yosemite / eds Robens J., Cary J.W., Campbell B.C.* CA, 2000. P. 88.
9. *Chen Z.-Y., Brown R.L., Damann K.E., Cleveland T.E.* Identification of unique or elevated levels of kernel proteins in aflatoxin-resistant maize genotypes through proteome analysis // *Phytopathology*. 2002. No. 92. P. 1084—1094. doi: 10.1094/PHYTO.2002.92.10.1084
10. *Mosolov V.V., Valueva T.A.* Proteinase inhibitors and their function in plants: review // *Appl Biochiv Microbiol.* 2005. No 41. P. 227—246. doi: 10.1007/s10438-005-0040-6

#### About the authors:

*Shekhvatova Galina Vladimirovna* — Senior Researcher, Research and Production Company Gamma, Pushchino, Russian Federation, 142290; e-mail: shgal06@gmail.com

*Ashin Viktor Vasilievich* — Candidate of Biological sciences, Junior Researcher, Laboratory of Adaptation of Microorganisms, Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, 5 Nauki avenue, Pushchino, Russian Federation, 142290; e-mail: ashin@ibpm.pushchino.ru

*Sotchenko Elena Fedorovna* — Candidate of Biological sciences, leading researcher, Department of Selection for immunity, Russian Research Institute of Corn, 14-B Ermolova st., Pyatigorsk, 357528, Russian Federation; e-mail: elena.minenkova@list.ru

#### Об авторах:

*Шехватова Галина Владимировна* — старший научный сотрудник, Научно-производственная фирма «Гамма», Российская Федерация, 142290, г. Пушкино; e-mail: shgal06@gmail.com

*Ашин Виктор Васильевич* — кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории адаптации микроорганизмов, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина, Российская Федерация, 142290, г. Пушкино, проспект Науки, д. 5; e-mail: ashin@ibpm.pushchino.ru

*Сотченко Елена Федоровна* — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции на иммунитет ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского института кукурузы, Российская Федерация, 357528, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14-Б; e-mail: elena.minenkova@list.ru



DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-403-422

Обзорная статья / Review article

## Biotechnological approaches to reduce biogenic risks in crop production: potato case

Svetlana M. Lenivko\*, Vladimir I. Boiko

Brest State A.S. Pushkin University, Brest, Republic of Belarus

\*Corresponding author: [lenivko@brsu.brest.by](mailto:lenivko@brsu.brest.by)

**Abstract.** The article presents an overview of the biogenic agro-ecological risks in crop production, to reduce which it is possible to use biotechnological approaches. Ways to reduce the negative impact of the two most common harmful objects, the colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and phytophthoras (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary), which lead to significant losses of potato yield, are considered. It is shown that the currently used methods of plant cell engineering (somatic hybridization and microclonal reproduction) are environmentally sound biotechnological methods of controlling black eye rot potato. The need to develop genetically engineered methods is associated with an exacerbation of biogenic agroecological risks, the reduction of which is an important approach is a proactive introgressive breeding strategy based on cell engineering and molecular methods.

**Key words:** biogenic agro-ecological risks, microclonal propagation, transgenic plants, *Solanum tuberosum* L., *Leptinotarsa decemlineata* Say, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

### Article history:

Received: 7 August 2019. Accepted: 28 November 2019

### For citation:

Lenivko SM, Boiko VI. Biotechnological approaches to reduce biogenic risks in crop production: potato case. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):403–422. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-403-422

## Биотехнологические подходы, снижающие биогенные риски в растениеводстве, на примере картофеля

С.М. Ленивко\*, В.И. Бойко

Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина

Брест, Республика Беларусь

\*[lenivko@brsu.brest.by](mailto:lenivko@brsu.brest.by)

**Аннотация.** Приведен обзор биогенных агроэкологических рисков в растениеводстве, для снижения которых возможно использование биотехнологических подходов. Рассмотрены пути, предлагаемые современной биотехнологией, для снижения негативного влияния двух наиболее

© Ленивко С.М., Бойко В.И., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

распространенных вредоносных объектов: колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) и фитофторы (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), приводящих к значительным потерям урожая картофеля. Проведен анализ возможных потенциальных рисков, связанных с использованием трансгенных организмов. Показано, что применяемые в настоящее время методы клеточной инженерии растений (соматическая гибридизация и микроклональное размножение) являются экологически оправданными биотехнологическими способами борьбы с фитофторозом. Потребность разработки генно-инженерных методов связана с обострением биогенных агроэкологических рисков, для снижения которых эффективна стратегия упреждающей интрогрессивной селекции, основанной на клеточно-инженерных и молекулярных методах.

**Ключевые слова:** биогенные агроэкологические риски, микроклональное размножение, трансгенные растения, *Solanum tuberosum* L., *Leptinotarsa decemlineata* Say, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

**История статьи:**

Поступила в редакцию: 7 августа 2019 г. Принята к публикации: 28 ноября 2019 г.

**Для цитирования:**

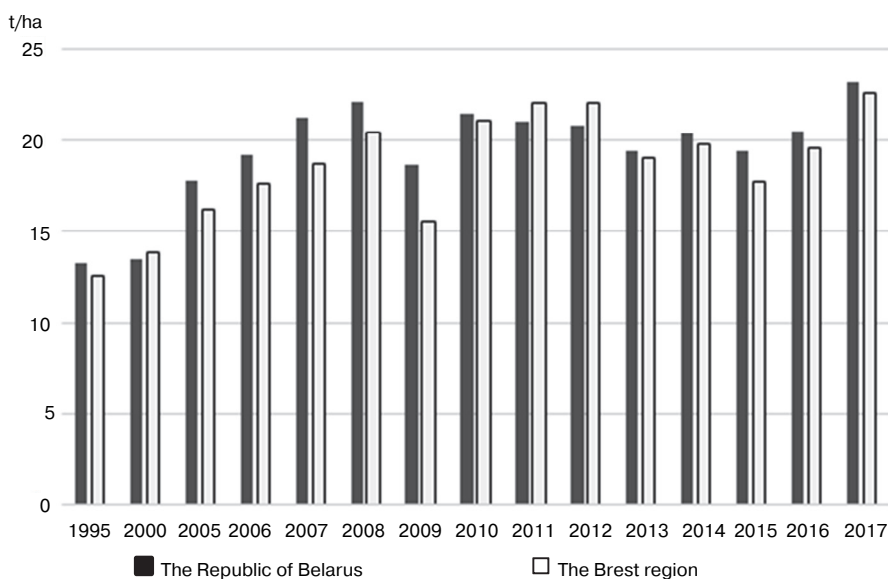
Ленивко С.М., Бойко В.И. Биотехнологические подходы, снижающие биогенные риски в растениеводстве, на примере картофеля // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 403—422. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-403-422

### **Potato productivity in the Republic of Belarus and Russia**

Against the background of increasing potential risks due to adverse changes occurring in the biosphere, one of the most important tasks is to obtain high crop yields. Efficiency of all agricultural production directly depends on productivity of crop production. A plant organism that can transform the energy of the sun into the energy of organic compounds is a fundamental link in production of food, feed, raw materials, fuel, and medicines. Intensification of crop production in modern conditions should be based on a reasonable combination of traditional approaches with new technologies.

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is the second most important agricultural crop in the Republic of Belarus, only in the last five years slightly inferior to rapeseed. The Brest region steadily ranks second in lands under potato in farms of all categories. However, according to Belstat (Fig. 1), potato yields in the Brest region are reduced in comparison with this indicator for the Republic of Belarus and a number of regions.

Problem of productivity in potato industry of the Republic of Belarus and Russia is aggravated against the background of observed tendency to reduce sown areas. Between 1995 and 2015, lands under potatoes in the Republic of Belarus decreased 2.3 fold, in Russia — 1.6 fold and they continue to decline annually (Table 1). Performance of potato production level, defined by the national doctrines of food security of the two countries, is impossible without yield increase. Despite the growth of this indicator in 2015 compared to 1995 (in the Republic of Belarus — by 48%, in Russia — by 34%), the average potato yield in two countries is several times lower than the average value for Western Europe (Table 2). According to statistics of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), in Germany and the Netherlands — the largest potato producers among European countries — reduction of croplands over 20 years was not so high, and since 2015 there is an inverse trend. The high average potato yield in these countries makes it possible to achieve significant productivity in relatively small lands.



**Fig. 1.** Potato productivity in the Republic of Belarus and the Brest region in 1995–2017, t/ha [1]

Table 1

**Potato land dynamics in 1995–2017, thousand ha [2]**

Country	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Russia	3 390	2 817	2 273	2 109	2 112	2 031	1 889
Republic of Belarus	725	661	461	367	310	292	276
Germany	315	304	277	254	237	243	251
Netherlands	179	180	156	157	156	156	161

Таблица 2

**Potato yield dynamics in 1995–2017, t/ha [2]**

A country	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Russia	11.8	10.5	12.4	10.0	15.9	15.3	15.7
Republic of Belarus	13.1	13.2	17.7	21.4	19.4	20.5	23.2
Germany	31.4	43.3	42.0	39.9	43.8	44.4	46.8
Netherlands	41.0	45.7	43.4	43.6	42.7	42.0	46.0
Western Europe	35.1	42.7	42.1	41.2	42.9	41.3	44.9

The problem of low potato yields in the Republic of Belarus and Russia, apart from technological, organizational and economic factors, is directly related to the biogenic risks of cultivating this crop. The shortage of potato harvest is due to the increasing harmfulness of diseases caused by fungal, bacterial and viral pathogens, as well as insect pests. We consider the methods proposed by modern biotechnology to reduce the negative impact of the two most common harmful objects: the Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata* Say) and phytophthora (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary), which lead to significant losses in potato harvest.

### **Biotechnological approaches in the control of late blight**

Late blight is one of the most harmful potato diseases. Blight affects aerial part of plants and thereby reduces assimilating surface during tuberization, and also causes rotting of tubers during storage. In the Republic of Belarus, strong outbreaks of the disease with 30...50% yield losses are observed every 2—3 years.

The main late blight control methods, actively used for several decades of XX century and in the new century include cultivation of resistant potato varieties and fungicide application. The latter method, despite its effectiveness, is unsafe for human health and poses the problem of increasing chemical load on agrocenoses, and, as a consequence, deterioration of ecological state of the environment. Therefore, for sustainable development of potato growing in modern conditions, along with the use of effective agrotechnical measures, the creation of new potato varieties highly resistant to *P. Infestans* is required, which will significantly reduce chemical treatments during plant vegetation.

Resistance to *P. infestans* of previously developed varieties was determined by the presence of R genes transferred by the method of distant hybridization from wild potato variety *Solanum demissum* [3]. However, high variability of *P. infestans* manifested itself in formation of new pathogen forms capable of overcoming protective reactions of resistant varieties based on *S. demissum* R genes. According to Yu.T. Dyakova, frequency of spontaneous mutations in *P. infestans* at one locus per 1 ha reaches 1,000. It is a high pathogen mutation rate that can provide the level of variability necessary for all kinds of adaptations [4]. The process of variability has sharply intensified since 1984, when new phytophthora populations with two types of sexual process A1 and A2 migrated from Mexico to the area of intensive potato cultivation [3]. The appearance of the A2 type in the Republic of Belarus significantly aggravated harmfulness of late blight, because racial composition became more complicated, spectrum of virulence expanded, pathogen's aggressivity and its resistance to existing pesticides increased [5].

A promising strategy that opposes the rapid loss of potato resistance to late blight is creation of new varieties that retain high resistance to many races of late blight for a long time. Combination of several resistance genes from wild potato variety in one plant (gene pyramidation) makes resistance long-term, since the totality of transferred genes provides recognition of various pathogen races. A change in the racial composition of the pathogen in agrocenosis will not lead to a significant decrease in the productivity of plants with long-term resistance. Such selection is called proactive [6]. The effectiveness of potato introgressive selection can be improved by developing a new source material with complex resistance to late blight both of the aerial parts of the plant and tubers. A decisive role in increasing potato resistance to late blight is played by a targeted search for sources of valuable genes using marker-associated selection methods. Molecular markers make help to distinguish plant forms resistant to different pathotypes of the same pathogen, which significantly accelerates selection of resistant genotypes and their inclusion in the breeding process.

Interspecific hybridization has been used in practical potato selection for several decades. Moreover, the transfer of resistance genes from wild species of the genus *Solanum*, growing in the Americas, to *S. tuberosum* during sexual hybridization is limited due to physiological and genetic incompatibility. Overcoming incompatibilities with the distant hybridization of cultured tetraploid potatoes with wild-growing species became possible thanks to the development of a number of biotechnological methods.

The method of somatic hybridization is based on the fusion of protoplasts isolated from somatic cells of various plant species under *in vitro* conditions. Somatic hybridization bypassing sexual process allows developing new source material (complex interspecific hybrids of three or more parent cells) with valuable traits from wild species to expand the genetic potential of potato breeding. The advantages of somatic hybridization include combining in one genome not only cultivated potato genes and phylogenetically distant wild relatives, which have more than 230 potatoes, but also cytoplasmic organelle genes (mitochondria, plastids), which ensures developing of qualitatively new interspecific hybrids [7]. Interspecific somatic potato hybrids are obtained in many countries, among which the Republic of Belarus. Somatic hybrids with 10 wild potato species inaccessible for sexual hybridization have been developed at Scientific and Practical Center for Potato, Vegetable and Fruit Growing (National Academy of Sciences of Belarus) by somatic hybridization. Despite the attractiveness of somatic hybridization, development of plant varieties, including potatoes, obtained on the basis of somatic hybrids, remains a rare phenomenon, since there is a problem with fertility of somatic hybrids and their ability to generate viable offspring when crossed with cultivated potatoes [8].

Another environmentally effective biotechnological method of controlling tuber blight, which reduces quality of planting material during storage, is the method of microclonal propagation of test-tube plants, which allows to obtain in sufficient quantities material free from fungal, and viral pathogens.

Microclonal propagation makes it possible to obtain genetically identical clone plants under *in vitro* conditions. It includes three stages: introduction of a cloned plant into explant culture; plant regeneration and its propagation in the required number of copies; stimulation of root formation in microplants and their adaptation to *in vivo* conditions. Obtaining healthy potato microplants starts in the first year according to a four-year seed-growing scheme of virus-free potato planting material. Breeding institutions organize this work. At the first stage, tubers are taken from obviously healthy plants and germinated. An apical meristem is isolated from sprouts under aseptic conditions and cultivated on nutrient media in phytotrons with controlled light and temperature conditions. Plants regenerated from the meristem are propagated by multiple cuttings according to the number of internodes to the required number of copies. Diagnosis of pathogen presence is mandatory. Healthy potato test plants are transferred to seed farms for mini-tubers, super-super elites and super-elites. The considered biotechnological approach, based on apical meristem method, is, in fact, a supportive selection and, being widely introduced into practice, makes it possible to annually provide farms with pathogen-free, high-quality potato planting material.

Decoding of *S. tuberosum* and *P. infestans* genomes increased possibilities of genetic engineering to create genetically modified potato varieties with increased resistance to late blight. To transform potatoes with genes of closely related wild-tuberous forms of *Solanum* (section Petota Dumort.) a new term “cisgenesis” was proposed, which is designed to distinguish such forms of potato from genetically modified organisms obtained using foreign genes [9].

### **Biotechnological approaches in controlling Colorado potato beetle**

Besides phytophthora, Colorado potato beetle, which can damage up to 40% yield in favorable years, is a serious biogenic risk for potatoes. Despite the rapid development of science, Colorado potato beetle still remains a harmful potato pest, and considerable funds are spent on combating it. Colorado potato beetle belongs to the objects of external and internal quarantine in the Republic of Belarus. It is very difficult to control it due to high fecundity, ability to go without food for a long time, fall into diapause for a long time, and travel considerable distances. In addition, Colorado potato beetle has few natural enemies, since eating Solanaceae plants containing poisonous solanine, Colorado beetles become poisonous to them. Complicating the fight against potato pests is the fact that with the beginning of spring, beetles wintering in soil come to soil surface not at the same time, but at intervals. In addition, some females overwinter already fertilized and immediately after reaching soil surface begin to lay eggs. Due to the climatic conditions of Belarusian Polesie, number of generations of Colorado potato beetle can be increased to three, which can further determine the duration of its harmfulness.

The traditional approach to reducing potato crop losses from the pest is chemical control methods. However, the use of chemicals against Colorado potato beetle causes the insect to quickly get used to the poison and also contributes to the preservation of more stable individuals that give more viable offspring. Over the past decades in the Republic of Belarus there has been an increase in number of Colorado potato beetle, a change in some bioecological features of pest development due to varying weather conditions of growing season, and formation of resistance to chemical agents. In this situation, microbiological agents and plant extracts for controlling Colorado potato beetle are considered to be the most suitable [10]. Most existing and newly developed microbial agents are based on strains of *Bacillus thuringiensis* soil bacterium, which is capable of producing Bt-toxin. This toxic protein differs depending on *B. thuringiensis* subspecies, therefore it has a high selectivity and allows to adjust the number of only certain insect types. When bacteria are consumed by susceptible insects, secreted Bt-toxin becomes active under the action of enzymes in alkaline conditions of digestive tract. In the active form, the toxin specifically binds to the receptors of epithelial cells and causes their destruction. Insects stop feeding and soon die, and Bt-toxin is destroyed in the sunlight. Bt-toxin does not have a negative effect on warm-blooded animals.

The development of genetic engineering methodology became it possible to detect and isolate genes encoding Bt-toxins, their modification and transfer to the plant genome. The first publications on practical developments in transferring potato varieties into transgenic status appeared in the early 90s of XX century. In particular, one such publication showed that genetically improved plants of the Russet Burbank potato variety



contained a modified bacterial gene, *B. thuringiensis* var. *tenebrionis* encoding the control protein *L. decemlineata* Say, and were not damaged by Colorado potato beetle in the laboratory [11]. In transgenic varieties, the Bt-toxin gene is found in all cells, which means that it is able to express constantly, which allows the plant to protect itself from Colorado potato beetle and its larvae throughout the growing season. In all other respects, the transgenic variety does not differ from the original unmodified variety. In a review of biotechnological achievements of the first decade in crop production, it was noted that among other crops for which field trials and commercialization of transgenic plants were carried out from 1986 to 1995, potatoes accounted for 11% [12].

The profitability of growing genetically modified plants on an industrial scale was immediately evaluated by companies in the USA, Argentina, Brazil, Canada, and India, which since 1996 have remained the undisputed leaders in expanding cultivated areas and a specific assortment of genetically engineered crops. According to the International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications (ISAAA), in 2016 the cultivated area under genetically engineered crops in the world reached 185.1 million hectares, an increase of more than 100 times over ten years (for comparison, 1.7 million ha in 1996) [13]. The commercial benefits from genetically modified plants, due to increased yields while reducing chemical means of protection, as well as issues related to development of effective measures to maintain sustainable development, economic stability, encourage scientists from different countries, including the Republic of Belarus, to conduct research on genetic improvement of crop varieties of domestic selection. Such varieties form the basis of varietal resources of the country and compares favorably with their foreign counterparts, especially in terms of their adaptability to growing conditions, diseases resistance, and other characteristics.

The directions of research on genetic engineering of potatoes, carried out in scientific institutions of the Republic of Belarus, include the developing of transgenic lines based on Skarb Belarusian variety having resistance to Colorado potato beetle, as well as to late blight. In 2014–2015, the genetically engineered potato line resistant to Colorado potato beetle and developed at the Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, was tested in an experimental field that met safety requirements. The transgenic line was obtained by introducing the Cry3aM gene, whose donor was bacterium *B. thuringiensis* var. *tenebrionis*, into the potato plant genome, under the control of the CaMV 35S promoter from cauliflower mosaic virus. The foreign gene expresses the Bt-endotoxin protein, which exhibits insecticidal properties against Colorado potato beetle and does not affect other insects.

### **Assessment of potential risks associated with the use of transgenic organisms in the Republic of Belarus**

Considering the short global practice of using genetically modified plants, as well as the fact that potatoes are a significant food crop for consumers, safety of its genetically modified varieties should not only be ensured by scientists, but also guaranteed at the state level. In the Republic of Belarus for the period following the accession in May 2002 to the Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity, a National Security System was created that included legislative and regulatory components to regulate safety of genetic engineering activities and aimed at protecting

human health and the environment. The legislative acts are aimed at creating the legal and organizational foundations of safety carried out in research institutions, as well as at an objective assessment of potential risks of genetically engineered organisms that are only released for environmental tests in the field and to the market.

Under Belarusian law, the procedure for assessing environmental risks and risks to human health is carried out twice. For the first time, the standard risk assessment procedure [14] is carried out before the genetically modified organism is released into the environment for testing on specially equipped experimental fields that meet world biosafety requirements. For this, the applicant scientific organization submits to the expert council of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection a full study on the risk assessment of the possible harmful effects of the developed genetic engineering organism, which is further evaluated by experts from among scientific institutions competent in this field. After it is considered at a meeting of the expert council of the Ministry of Natural Resources, at which it is decided whether or not the release of such an organism is permissible. Risks are reassessed before releasing genetically modified organisms into agricultural production. Genetically engineered organisms that have undergone a full cycle of research and are admitted to the market should not have negative effects on human health. All information on risk assessment is freely available on the website of the National Biosafety Coordination Center of the Republic of Belarus (<http://www.biosafety.by>). The National Biosafety Coordination Center was established in 1998 with the aim of ensuring the effective participation of the Republic of Belarus in solving the global problem of preserving biological diversity and coordinating activities related to the safety of using the achievements of modern biotechnology.

### **Conclusions**

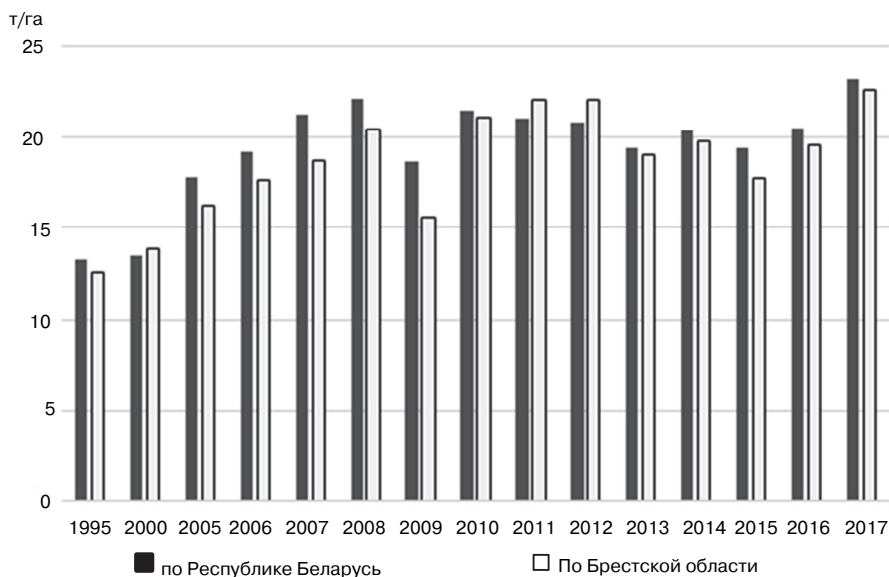
The current global trend in the development of plant protection methods is associated with increasing developing and implementation of transgenic organisms, the genome of which contains foreign genes to ensure their resistance to insect pests and pathogens. The use of genetic engineering methods aimed at reducing biogenic agroecological risks, in turn, raises concerns related to the ability of genetically modified organisms to have an adverse effect on conservation and sustainable use of biological diversity, and human health risks. It should be noted that the gene itself does not carry risks, since it consists of a sequence of nucleotides that are the same in all living organisms. Potential risks may arise due to the non-specific insertion of a new gene into the plant genome, i.e. insertion can occur anywhere in the DNA. The result of the insertion can be both favorable and undesirable consequences. If a foreign gene is inserted into a region of DNA that already encodes a gene, this can lead to its silencing, and, as a result, to termination of synthesis of a certain substance, which should not be observed when a new gene is inserted into a silent part of the genome. If the initial unmodified organism, into which the new gene is transformed, initially has undesirable traits, then with the integration of the gene such properties can be enhanced. That is why it is imperative that when assessing risks to human health, allergological and toxico-

logical specialized tests are carried out, including animal studies. At the same time, the duration of the research will be increased if the parent organism, in which the new gene is inserted, is initially allergenic, has an increased level of anti-nutritional substances (e.g. soy), since after gene inserting, they can increase. It is also imperative to develop a molecular method that can effectively identify and track in the future the distribution on the market of a genetically modified organism and products derived from it. Currently, there are 18 specialized laboratories for detection of genetically modified organisms accredited by state or international standards in the republic. Another group of potential risks is associated with the safety of using genetically engineered organisms. Since transgenic plants begin to multiply in the environment, the risks associated with the consequences of transgene transfer during pollination for closely related cultural and wild species should be evaluated. Therefore, the transgenic organisms being developed undergo mandatory expert assessment, which involves consideration of all potential environmental and human health risks that may appear after insertion of a specific new gene and the new sign that will appear. When transgenic plants are released into the environment, there must be full scientific certainty about absence of threat of serious or irreversible damage. Summing up the issue of potential risks associated with the use of organisms and products of genetic technologies, we would like to note that all transgenic potato lines obtained in the Republic of Belarus are tested in laboratory conditions and on experimental fields that meet safety requirements. Since potato is an introduced species for Belarus, there is no possibility of uncontrolled transfer of its genetic material, including and transgenic, wild plant species growing in natural biocenoses. The need to use genetic engineering methods is associated with an exacerbation of biogenic agroecological risks, which can be reduced through the strategy of proactive introgressive selection based on cell-engineering and molecular methods.

### **Проблема урожайности в картофелеводстве Республики Беларусь и России**

На фоне возрастающих потенциальных рисков, обусловленных неблагоприятными изменениями, происходящими в биосфере, одной из важнейших задач является получение высоких урожаев растений. От продуктивности растениеводства напрямую зависит эффективность всего сельскохозяйственного производства. Растительный организм, способный трансформировать энергию солнца в энергию органических соединений, — основополагающее звено в получении продуктов питания, кормов, сырья, топлива, лекарственных средств. Интенсификация растениеводства в современных условиях должна базироваться на разумном сочетании традиционных подходов с новыми технологиями.

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) — вторая по важности сельскохозяйственная культура в Республике Беларусь, лишь в последние пять лет незначительно уступающая рапсу. Брестская область стабильно занимает второе место по площади, занятой под выращивание картофеля, в хозяйствах всех категорий. Однако, по данным Белстата (рис. 1), урожайность картофеля в условиях Брестской области снижена в сравнении с данным показателем по Республике Беларусь и ряду областей.



**Рис. 1.** Урожайность картофеля, т/га, в Республике Беларусь и Брестской области с 1995 по 2017 гг. (составлено автором по данным [1])

Таблица 1

**Динамика посевных площадей картофеля, тыс. га, в выборке стран с 1995 по 2017 гг.**

Страна	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Россия	3 390	2 817	2 273	2 109	2 112	2 031	1 889
Республика Беларусь	725	661	461	367	310	292	276
Германия	315	304	277	254	237	243	251
Нидерланды	179	180	156	157	156	156	161

Составлено автором по данным [2].

Таблица 2

**Динамика урожайности картофеля, т/га, в выборке стран с 1995 по 2017 гг.**

Страна	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
Россия	11,8	10,5	12,4	10,0	15,9	15,3	15,7
Республика Беларусь	13,1	13,2	17,7	21,4	19,4	20,5	23,2
Германия	31,4	43,3	42,0	39,9	43,8	44,4	46,8
Нидерланды	41,0	45,7	43,4	43,6	42,7	42,0	46,0
Западная Европа	35,1	42,7	42,1	41,2	42,9	41,3	44,9

Составлено автором по данным [2].

Проблема урожайности в картофелеводческой отрасли Республики Беларусь и России обостряется на фоне наблюдаемой тенденции к сокращению посевных площадей. В период с 1995 по 2015 гг. занимаемые картофелем площади в Республике Беларусь уменьшились в 2,3 раза, в России — в 1,6 раза и продолжают ежегодно сокращаться (табл. 1). Выполнение объемов собственного производства картофеля, определенных национальными доктринами продовольственной безопасности двух стран, невозможно без повышения урожайности. Несмотря

на рост данного показателя в 2015 г. по отношению к 1995 г. (в Республике Беларусь — на 48%, в России — на 34%), средняя урожайность картофеля в двух странах в разы меньше, чем среднее значение по странам Западной Европы (табл. 2). Кроме того, как показывают приведенные в таблицах статистические данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO — Food and Agriculture Organization), в Германии и Нидерландах — крупных производителях картофеля среди Европейских стран — снижение посевных площадей за 20 лет было не столь высоким, а начиная с 2015 г. прослеживается обратная тенденция. Высокие средние показатели урожайности картофеля в данных странах позволяют достигать значительной производительности на сравнительно небольших посевных площадях.

Обозначенная проблема низкой урожайности картофеля в Республике Беларусь и России помимо технологических и организационно-экономических факторов напрямую связана с биогенными рисками возделывания данной культуры. Недобор урожая картофеля обусловлен нарастанием вредоносности ряда заболеваний, вызываемых грибными, бактериальными и вирусными патогенами, а также распространенностью насекомых-вредителей. Рассмотрим предлагаемые современной биотехнологией пути снижения негативного влияния двух наиболее распространенных вредоносных объектов: колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) и фитофторы (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), приводящих к значительным потерям урожая картофеля.

### **Биотехнологические подходы в борьбе с фитофторозом**

Фитофтороз относится к одним из вредоноснейших заболеваний картофеля. Фитофтороз поражает надземную часть растений и тем самым уменьшает ассимилирующую поверхность в период клубнеобразования, а также вызывает гниение клубней во время хранения. В Республике Беларуси сильные вспышки болезни с потерями 30...50% урожая наблюдаются через каждые 2—3 года.

К основным способам борьбы с фитофторозом, активно используемым на протяжении нескольких десятилетий XX в. и имеющим продолжение в новом столетии, относятся возделывание устойчивых сортов картофеля и использование фунгицидов. Последний способ, несмотря на эффективность, небезопасен для здоровья человека и порождает проблему увеличения химической нагрузки на агроценозы, и, как следствие, ухудшения экологического состояния окружающей среды. Поэтому для устойчивого развития картофелеводства в современных условиях наравне с применением эффективных агротехнических мероприятий требуется создание новых высокоустойчивых к *P. infestans* сортов картофеля, что позволит существенно сократить применение химических обработок на протяжении вегетации растений.

Устойчивость к *P. infestans* ранее созданных сортов определялась присутствием R-генов, перенесенных методом отдаленной гибридизации из дикорастущего сородича картофеля *Solanum demissum* [3]. Однако высокая изменчивость *P. infestans* проявилась в образовании новых форм патогена, способных преодолевать защитные реакции устойчивых сортов, созданных на основе R-генов *S. demis-*

sum. По данным Ю.Т. Дьякова, частота спонтанных мутаций у *P. infestans* по одному локусу на 1 га достигает 1 000. Именно высокая скорость мутирования патогена способна обеспечить необходимый для всевозможных адаптаций уровень изменчивости [4]. Процесс изменчивости резко усилился, начиная с 1984 г., когда из Мексики в области интенсивного возделывания картофеля мигрировали новые популяции фитофторы с двумя типами полового процесса A1 и A2 [3]. Появление в Республике Беларусь A2 типа значительно усугубило вредоносность фитофтороза, поскольку усложнился расовый состав, расширился спектр вирулентности, повысилась агрессивность патогена, а также его резистентность к существующим пестицидам [5].

Перспективной стратегией, противостоящей быстрой потере устойчивости растений картофеля к фитофторозу, является создание новых сортов, надолго сохраняющих высокую устойчивость к многим расам фитофторы. Объединение нескольких генов устойчивости из дикорастущих сородичей картофеля в одном растении (пирамидирование генов) делает устойчивость долговременной, поскольку совокупность перенесенных генов обеспечивает распознавание различных рас патогена. Изменение расового состава патогена в агроценозе не будет приводить к существенному снижению продуктивности растений с долговременной устойчивостью. Такую селекцию называют упреждающей [6]. Результативность интрогрессивной селекции картофеля может быть повышена за счет создания нового исходного материала с комплексной устойчивостью к фитофторозу как надземных частей растения, так и клубней. Также определяющую роль в развитии стратегии повышения устойчивости картофеля к фитофторозу играет целенаправленный поиск источников ценных генов с помощью методов маркер-сопутствующей селекции. Молекулярные маркеры позволяют надежно различать формы растений, устойчивые к различным патотипам одного и того же возбудителя болезни, что существенно ускоряет отбор устойчивых генотипов и включение их в селекционный процесс.

В практической селекции картофеля на протяжении нескольких десятков лет используется межвидовая гибридизация. При этом перенос генов устойчивости из дикорастущих видов рода *Solanum*, произрастающих в Северной и Южной Америке, в *S. tuberosum* при половой гибридизации, как правило, ограничен из-за физиологической и генетической несовместимости. Преодоление несовместимости при отдаленной гибридизации культурного тетраплоидного картофеля с дикорастущими видами стало возможным благодаря разработке ряда биотехнологических методов.

Метод соматической гибридизации основан на слиянии протопластов, изолированных из соматических клеток растений различных видов в условиях *in vitro*. Соматическая гибридизация в обход полового процесса позволяет создавать новый исходный материал (сложные межвидовые гибриды из трех и более родительских клеток) с ценными признаками от диких видов для расширения генетических возможностей селекции картофеля. К преимуществам соматической гибридизации относится объединение в одном геноме не только генов культурного картофеля и филогенетически отдаленных диких сородичей, которых у картофеля

более 230, но и генов органелл цитоплазмы (митохондрий, пластид), что обеспечивает создание качественно новых межвидовых гибридов [7]. Межвидовые соматические гибриды картофеля получены во многих странах, в т.ч. и Республике Беларусь. В НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству методом соматической гибридизации созданы соматические гибриды с 10 дикими видами картофеля, малодоступными для половой гибридизации. Несмотря на привлекательность соматической гибридизации, создание сортов растений, в том числе и картофеля, полученных на основе соматических гибридов, остается редким явлением, поскольку существует проблема с фертильностью соматических гибридов и их способностью к генерации жизнеспособного потомства при скрещивании с культурным картофелем [8].

Другим экологически оправданным биотехнологическим способом борьбы с фитофторозом клубней, снижающим качество посадочного материала во время хранения, является метод микроклонального размножения пробирочных растений, позволяющий получить в достаточном количестве оздоровленный материал не только от грибных, но и вирусных патогенов.

Микроклональное размножение позволяет получить в условиях *in vitro* генетически идентичные материнскому растения-клоны. Включает три этапа: введение в культуру экспланта клонируемого растения; регенерация микропобега и его размножение в необходимом количестве копий; стимуляция корнеобразования у пробирочных растений и адаптация их к условиям *in vivo*. Получение оздоровленных пробирочных растений картофеля происходит в первый год согласно четырехлетней схеме семеноводства безвирусного посадочного материала картофеля. Организуют эту работу селекционные учреждения. На первом этапе отбирают клубни от заведомо здоровых растений и проращивают. Из ростков в асептических условиях выделяют апикальную меристему и культивируют на питательных средах в фитотронах с контролируруемыми световым и температурным режимами. Регенерированные из меристем растения размножают многократным черенкованием по числу междоузлий до необходимого количества копий. Обязательным является диагностика на наличие патогенов. Здоровые пробирочные растения картофеля передаются семеноводческим хозяйствам для получения мини-клубней, супер-суперэлиты и суперэлиты. Рассмотренный биотехнологический подход, основанный на методе апикальных меристем, по сути, является поддерживающей селекцией и, будучи широко внедренным в практику, позволяет ежегодно обеспечивать хозяйства оздоровленным, качественным сортовым посадочным материалом картофеля.

С расшифровкой геномов *S. tuberosum* и *P. infestans* расширились возможности геномной инженерии по созданию генетически модифицированных сортов картофеля с повышенной устойчивостью к фитофторозу. Для трансформации картофеля генами близкородственных дикорастущих клубненосных форм *Solanum* (секции *Petota* Dumort.) предложен новый термин «цисгенез», призванный отличать такие формы картофеля от генетически модифицированных организмов, полученных с использованием чужеродных генов [9].

### **Биотехнологические подходы в борьбе с колорадским жуком**

Помимо фитофторы серьезным биогенным риском для картофеля во многих странах является колорадский жук, который в благоприятные годы способен уничтожить до 40% урожая. Несмотря на стремительное развитие науки, колорадский жук до сих пор остается опасным вредителем картофеля, на борьбу с которым тратятся немалые средства. Колорадский жук как опасный вредитель картофеля относится к объектам внешнего и внутреннего карантина в Республике Беларусь. Бороться с ним в связи с его высокой плодовитостью, способностью длительно обходиться без пищи, впадать в диапаузу на продолжительный срок и перемещаться на значительные расстояния очень затруднительно. К тому же у колорадского жука мало естественных врагов. Питаясь пасленовыми, содержащими ядовитый соланин, колорадские жуки становятся для них ядовитыми. Затрудняет борьбу с вредителем картофеля и тот факт, что с началом весны жуки, зимующие в почве, выходят на поверхность земли не одновременно, а с интервалами. Кроме того, некоторые самки зимуют уже оплодотворенными и сразу после выхода на поверхность начинают откладывать яйца. В связи с климатическими особенностями Белорусского Полесья количество генераций у колорадского жука может быть увеличено до трех, что еще больше может обусловить продолжительность его вредоносности.

Традиционным подходом, направленным на сокращение потерь урожая картофеля от вредителя, являются химические методы защиты. Однако использование химических препаратов против колорадского жука вызывает у насекомого быстрое привыкание к яду и способствует к тому же сохранению более устойчивых особей, дающих более жизнеспособное потомство. За последние десятилетия в Республике Беларусь произошло увеличение распространенности колорадского жука, изменение некоторых биоэкологических особенностей развития вредителя вследствие варьирования погодных условий вегетационного сезона, формирование резистентности к химическим средствам защиты. В сложившейся ситуации наиболее подходящим считается использование микробиологических препаратов и растительных экстрактов с включением их в экологизированную систему защиты картофеля от колорадского жука [10]. Большинство существующих и вновь разрабатываемых микробных препаратов создаются на основе штаммов почвенной бактерии *Bacillus thuringiensis*, которые способны вырабатывать белок, названный Bt-токсином. Этот токсический белок отличается в зависимости от подвида *B. thuringiensis*, производящего его, поэтому обладает высокой избирательностью действия и позволяет регулировать численность только определенных видов насекомых. Когда бактерии потребляются восприимчивыми насекомыми, выделяемый Bt-токсин становится активным под действием ферментов в щелочных условиях пищеварительного тракта. В активной форме токсин специфически связывается с рецепторами эпителиальных клеток и вызывает их разрушение. Насекомые перестают питаться и вскоре погибают, а Bt-токсин разрушается под действием солнечного света. На теплокровных животных Bt-токсин не оказывает негативного действия.



С разработкой методологии генетической инженерии стало возможным обнаружение и выделение генов, кодирующих Vt-токсина, их модификация и перенос в геном растений. Первые публикации о практических наработках по переводу сортов картофеля в статус трансгенных появились в начале 90-х гг. XX в. В частности, в одной из таких публикаций показано, что генетически улучшенные растения сорта картофеля Russet Burbank содержали модифицированный бактериальный ген *B. thuringiensis var. tenebrionis*, кодирующий белок-контролер *L. decemlineata* Say, и не повреждались колорадским жуком в лабораторных условиях [11]. У трансгенных сортов ген Vt-токсина находится во всех клетках, а значит, способен экспрессироваться постоянно, что позволяет растению защитить себя от колорадского жука и его личинок на протяжении всей вегетации. По всем остальным признакам трансгенный сорт не отличается от исходного немодифицированного сорта. В обзоре достижений первого десятилетия биотехнологии в растениеводстве отмечено, что в мировом масштабе среди других культур, для которых проведены полевые испытания и коммерциализация трансгенных растений с 1986 по 1995 г., картофель составлял 11% [12].

Прибыльность выращивания генетически модифицированных растений в производственных масштабах сразу была оценена компаниями США, Аргентины, Бразилии, Канады, Индии, которые с 1996 г. остаются безусловными лидерами по расширению посевных площадей и видового сортимента генно-инженерных культур. По данным Международной службы по внедрению агробиотехнологических разработок (ISAAA — International Service for the Acquisition of Agribiotech Applications), в 2016 г. посевные площади под генно-инженерными культурами в мире достигли 185,1 млн га, увеличившись за десять лет более чем в 100 раз (для сравнения 1,7 млн га в 1996 г.) [13]. Коммерческая выгода от использования генетически модифицированных растений, обусловленная повышением урожайности при сокращении затрат на применение химических средств защиты, а также вопросы, связанные с выработкой эффективных мер по поддержанию устойчивого развития, экономической стабильности, побуждают ученых разных стран, в т.ч. и Республики Беларусь, к проведению исследований по генетическому улучшению сортов сельскохозяйственных культур отечественной селекции. Такие сорта составляют основу сортовых ресурсов страны и выгодно отличаются от зарубежных аналогов, особенно по уровню их адаптивности к условиям выращивания, устойчивости к болезням и ряду других признаков.

К направлениям исследований по генетической инженерии картофеля, проводимых в научных учреждениях Республики Беларусь, относятся создание трансгенных линий на основе сорта белорусской селекции Скарб с устойчивостью к колорадскому жуку, а также к фитофторозу. В 2014—2015 гг. проведены испытания созданной в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси генно-инженерной линии картофеля, устойчивой к колорадскому жуку, на опытном поле, соответствующем требованиям безопасности. Трансгенная линия получена путем введения в геном растений картофеля сорта Скарб гена *StuZaM*, донором которого была бактерия *B. thuringiensis var. tenebrionis*, под контролем *CaMV 35S* промотора от вируса мозаики цветной капусты. Чужеродный ген экспрессирует белок Vt-эндотоксин, который проявляет инсектицидные свойства по отношению к колорадскому жуку и не действует на других насекомых.

## **Оценка потенциальных рисков, связанных с использованием трансгенных организмов, в Республике Беларусь**

Принимая во внимание короткую мировую практику использования генетически модифицированных растений, а также то, что картофель является значимой для потребителей продовольственной культурой, безопасность его генетически модифицированных сортов должна быть не только обеспечена со стороны ученых, но и гарантирована на уровне государства. В Республике Беларусь за период, прошедший после присоединения в мае 2002 г. к Картахенскому протоколу по биобезопасности к Конвенции о биологическом разнообразии, была создана Национальная система безопасности, включающая законодательную и нормативно-регламентную составляющие регулирования безопасности генно-инженерной деятельности и направленная на охрану здоровья человека и окружающей среды. Действие законодательных актов нацелено на создание правовых и организационных основ безопасности, проводимой в научных учреждениях деятельности, а также на объективную оценку потенциальных рисков генно-инженерных организмов, только выпускаемых для экологических испытаний в полевых условиях и высвобождаемых на рынок.

По белорусскому законодательству процедура оценки экологических рисков и рисков для здоровья человека проводится дважды. Первый раз стандартная процедура оценки рисков [14] проводится перед высвобождением генетически модифицированного организма в окружающую среду для проведения испытаний на специально оборудованных опытных полях, соответствующих мировым требованиям биобезопасности. Для этого научная организация-заявитель представляет в экспертный совет Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды полное исследование об оценке риска возможных вредных воздействий созданного генно-инженерного организма, которое далее оценивается одним из экспертов либо экспертами из числа научных учреждений, компетентных в данной области, после чего рассматривается на заседании экспертного совета Минприроды, на котором решается, допустимо либо нет высвобождение такого организма. Повторно риски оцениваются перед выпуском генетически модифицированных организмов в сельскохозяйственное производство. У генно-инженерных организмов, прошедших полный цикл исследований и допущенных на рынок, не должно быть выявлено отрицательных эффектов на здоровье человека. Вся информация по оценке рисков размещается в свободном доступе на веб-сайте Национального координационного центра биобезопасности Республики Беларусь (<http://www.biosafety.by>). Национальный координационный центр биобезопасности был создан в 1998 г. с целью обеспечения эффективного участия Республики Беларусь в решении глобальной проблемы сохранения биологического разнообразия и координации деятельности, связанной с безопасностью использования достижений современной биотехнологии.

### **Выводы**

Современная мировая тенденция по разработке способов защиты растений связана с наращиванием темпов создания и внедрения в практику трансгенных организмов, в геном которых интегрированы чужеродные гены, обеспечивающие

их устойчивость к насекомым-вредителям и патогенам. Использование генно-инженерных методов, направленных на снижение биогенных агроэкологических рисков, порождает в свою очередь опасения, связанные как со способностью генетически модифицированных организмов оказать неблагоприятное воздействие на сохранение и устойчивое использование биологического разнообразия, так и возникновением рисков для здоровья человека. Следует отметить, что сам по себе встроены ген не несет рисков, поскольку состоит из последовательности нуклеотидов, которые одинаковы у всех живых организмов. Потенциальные риски могут возникать из-за неспецифического встраивания нового гена в геном растения, т.е. вставка может произойти в любом участке ДНК. Результатом вставки могут быть как благоприятные, так и нежелательные последствия. Если чужеродный ген встраивается в область ДНК, которая уже кодирует какой-то ген, то это может привести к его замолчанию, и, как следствие, к прекращению синтеза определенного вещества, чего не должно наблюдаться при встраивании нового гена в молчащий участок генома. Если исходный немодифицированный организм, в который трансформируется новый ген, изначально обладает нежелательными признаками, то при интеграции гена такие свойства могут усилиться. Именно поэтому обязательно при оценке рисков для здоровья человека проводятся аллергологические и токсикологические специализированные тесты, в том числе исследования на животных. При этом длительность исследований будет увеличена в том случае, если родительский организм, в который встроены новый ген, изначально обладает аллергенностью, имеет повышенный уровень антипитательных веществ (например, соя), так как при встройке гена они могут усилиться. Также обязательной является разработка молекулярного метода, позволяющего эффективно выявлять и проследить в дальнейшем распространение на рынке созданного генетически модифицированного организма и продукты, получаемые на его основе. В настоящее время в республике функционируют 18 специализированных лабораторий по детекции генетически модифицированных организмов, аккредитованных по государственным или международным стандартам. Другая группа потенциальных рисков связана с безопасностью использования генно-инженерных организмов. Поскольку при высвобождении в окружающую среду трансгенные растения начинают размножаться, то должны быть оценены риски, связанные с последствием переноса трансгена при опылении для близкородственных культурных и диких видов. Поэтому разрабатываемые трансгенные организмы в обязательном порядке проходят экспертную оценку, предполагающую рассмотрение всех потенциальных экологических рисков и рисков для здоровья человека, которые могут появиться в связи со встройкой конкретного нового гена и тем новым признаком, который будет проявляться. При высвобождении в окружающую среду трансгенных растений должна быть полная научная уверенность в отсутствии угрозы серьезного или необратимого ущерба. Подводя итог вопросу возможных потенциальных рисков, связанных с использованием организмов и продуктов генных технологий, хотелось бы отметить, что все получаемые в Республике Беларусь трансгенные линии картофеля проходят исследования в лабораторных условиях и на опытных полях, соответствующих требованиям безопасности. Поскольку картофель является интродуцированным видом для Беларуси, то отсутствует возможность неконтролируемого переноса его генетического материала,

в т.ч. и трансгенного, диким видам растений, произрастающим в естественных биоценозах. Потребность использования генно-инженерных методов связана с обострением биогенных агроэкологических рисков, в снижении которых важным подходом является стратегия упреждающей интрогрессивной селекции, основанной на клеточно-инженерных и молекулярных методах.

## References

1. BELSTAT. Available from: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/> [Accessed 1st August 2019].
2. FAOSTAT. Available from: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC> [Accessed 29th October 2019].
3. Khavkin EE. Resistance of potatoes to black eye rot by view of molecular biotechnologist. In: Kharchenko PN. (ed.) *Problemy agrobiotekhnologii* [Problems of agrobiotechnology]. Moscow: VNIISB Publ.; 2012. p. 69—92. (In Russ).
4. Dyakov YT, Elanskiy SN. Population genetics *Phytophthora infestans*. In: Dyakov YT, Sergeeva YV. (ed.) *Mikologiya segodnya* [Mycology today]. Moscow: National Mycology Academy Publ.; 2007. 1:107—139. (In Russ).
5. Chashinskiy AV. Mexican varieties *S. stoloniferum* and *S. polytrichon* for creation of initial material resistant to black eye rot. In: Turko SA. (ed.) *Kartofelevodstvo* [Potato Growing]. Minsk: Research and Practical Centre of National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing; 2015. 23:56—68. (In Russ).
6. Fadina OA, Beketova MP, Sokolova EA, Kuznetsova MA, Smetanina TI, Rogozina EV, Khavkin EE. Anticipatory breeding: molecular markers as a tool in developing donors of potato (*Solanum tuberosum* L.) late blight resistance from complex interspecific hybrids. *Agricultural Biology*. 2017; 52(1):84—94. (In Russ). doi: 10.15389/agrobiology.2017.1.84rus
7. Yakovleva GA. Somatic hybridization and cell selection of potatoes (*Solanum tuberosum* L.). In: Kilchevskij AV, Khotyleva LV. (ed.) *Biotekhnologiya v seleksii rastenii. Kletochnaya inzheneriya* [Biotechnology in plant breeding. Cell engineering]. Minsk: Belorusskaya nauka Publ.; 2012. 3:217—250. (In Russ).
8. Yakovleva GA, Semanyuk TV, Kondratyuk AV, Bashko DV, Rodkina IA. Genital breeding of somatic hybrids and new potatoes initial forms creation. In: Turko SA. (ed.) *Kartofelevodstvo* [Potato Growing]. Minsk: Research and Practical Centre of National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing; 2017. 25:94—104. (In Russ).
9. Jacobsen E, Schouten HJ. Cisgenesis, a new tool for traditional plant breeding, should be exempted from the regulation on genetically modified organisms in a step by step approach. *Potato Research*. 2008; 51:75—88. doi: 10.1007/s11540-008-9097-y
10. Yankovskaya EN, Vojtka DV, Brechko EV, Elisovetskaya DS, Nastas TN. Ontogenetic peculiarities of colorado potato beetle susceptibility to bio-preparation and plant extracts. In: Turko SA. (ed.) *Kartofelevodstvo* [Potato Growing]. Minsk: Research and Practical Centre of National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing; 2014; 22:78—88. (In Russ).
11. Perlak FJ, Stone TB, Muskopf YM, Petersen LJ, Parker GB, McPherson SA, Wyman J, Love S, Reed G, Biever D, Fischhoff DA. Genetically improved potatoes: protection from damage by colorado potato beetles. *Plant Molecular Biology*. 1993; 22(2):313—321. doi: 10.1007/BF00014938
12. James C, Krattiger AF. Global Review of the Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants, 1986 to 1995: The First Decade of Crop Biotechnology. ISAAA Briefs No 1. Ithaca, NY: ISAAA; 1996.
13. ISAAA. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. ISAAA Brief No. 52. Ithaca, NY: ISAAA; 2016.

14. Mozgova G.V. Otsenka riskov vozdeistviya GMO na sokhranenie i ustoichivoe ispol'zovanie biologicheskogo raznoobraziya, s uchetom riskov dlya zdorov'ya cheloveka [Risk assessment of the impact of GMOs on the conservation and sustainable use of biological diversity, considering risks to human health]. Minsk: Pravoiekonomika Publ.; 2014. (In Russ).

### Библиографический список

1. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/>. Дата обращения: 01.08.2019.
2. FAOSTAT // Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Режим доступа: <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC> Дата обращения: 29.10.2019.
3. Хавкин Э.Е. Устойчивость картофеля к фитофторозу глазами молекулярного биотехнолога // Проблемы агробиотехнологии / под ред. П.Н. Харченко. М.: ВНИИСБ, 2012. С. 69—92.
4. Дьяков Ю.Т., Еланский С.Н. Популяционная генетика *Phytophthora infestans* // Микология сегодня / под ред. Ю.Т. Дьякова, Ю.В. Сергеева. М.: Национальная академия микологии, 2007. Т. 1. С. 107—139.
5. Чащинский А.В. Использование мексиканских видов *S. stoloniferum* и *S. polytrichon* при создании исходного материала, устойчивого к фитофторозу // Картофелеводство: сб. науч. тр. / под ред. С.А. Турко. Минск: Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 2015. Т. 23. С. 56—68.
6. Фадина О.А., Бекетова М.П., Соколова Е.А., Кузнецова М.А., Т.И. Сметанина Т.И., Рогозина Е.В., Хавкин Э.Е. Упреждающая селекция: использование молекулярных маркеров при создании доноров устойчивости картофеля (*Solanum tuberosum* L.) к фитофторозу на основе сложных межвидовых гибридов // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 1. С. 84—94. doi: 10.15389/agrobiology.2017.1.84rus
7. Яковлева Г.А. Соматическая гибридизация и клеточная селекция картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // Биотехнология в селекции растений. Клеточная инженерия / науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. Минск: Белорусская наука, 2012. Т. 3. С. 217—250.
8. Яковлева Г.А., Семанюк Т.В., Кондратюк А.В., Башко Д.В., Родькина И.А. Селекция генеративного потомства соматических гибридов и создание новых исходных форм картофеля // Картофелеводство: сб. науч. тр. / под ред. С.А. Турко. Минск: Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 2017. Т. 25. С. 94—104.
9. Jacobsen E., Schouten H.J. Cisgenesis, a new tool for traditional plant breeding, should be exempted from the regulation on genetically modified organisms in a step by step approach // Potato Research. 2008. Vol. 51. P. 75—88. doi: 10.1007/s11540-008-9097-y
10. Янковская Е.Н., Войтка Д.В., Бречко Е.В., Елисовецкая Д.С., Настас Т.Н. Онтогенетические особенности восприимчивости колорадского жука к воздействию биопрепаратов и растительных экстрактов // под ред. С.А. Турко. Минск: Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 2014. Т. 22. С. 78—88.
11. Perlak F.J., Stone T.B., Muskopf Y.M., Petersen L.J., Parker G.B., McPherson S.A., Wyman J., Love S., Reed G., Biever D., Fischhoff D.A. Genetically improved potatoes: protection from damage by colorado potato beetles // Plant Molecular Biology. 1993. Vol. 22. No. 2. P. 313—321. doi: 10.1007/BF00014938
12. James C., Krattiger A.F. Global Review of the Field Testing and Commercialization of Transgenic Plants, 1986 to 1995: The First Decade of Crop Biotechnology // ISAAA Briefs No. 1. ISAAA: Ithaca, NY, 1996. 31 p. Available from: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/01/download/isaaa-brief-01-1996.pdf>
13. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2016. ISAAA Brief No. 52. ISAAA: Ithaca, NY, 2016. 135 p. Available from: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/download/isaaa-brief-52-2016.pdf>

14. *Мозгова Г.В.* Оценка рисков воздействия ГМО на сохранение и устойчивое использование биологического разнообразия, с учетом рисков для здоровья человека. Минск: Право и экономика, 2014. 58 с.

**About the authors:**

*Lenivko Svetlana Mikhailovna* — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Zoology and Genetics, Brest State A.S. Pushkin University, 21, Cosmonavtov avenue, Brest, 224016, Republic of Belarus; e-mail: lenivko@brsu.brest.by

*Boiko Vladimir Ivanovich* — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Botany and Ecology, Brest State A.S. Pushkin University, 21, Cosmonavtov avenue, Brest, 224016, Republic of Belarus; e-mail: boikobio@yandex.by

**Об авторах:**

*Ленивко Светлана Михайловна* — кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии и генетики, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, Республика Беларусь, 224016, г. Брест, Бульвар Космонавтов, д. 21; e-mail: lenivko@brsu.brest.by

*Бойко Владимир Иванович* — кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и экологии, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, Республика Беларусь, 224016, г. Брест, Бульвар Космонавтов, д. 21; e-mail: boikobio@yandex.by



## Защита растений Plant protection

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-423-429

Review article

### Food security and sustainable crops production with considering climate change in China

Mohamad Hesam Shahrajabian<sup>\*1, 2</sup>,  
Wenli Sun<sup>1, 2</sup>, Qi Cheng<sup>\*1, 2</sup>

<sup>1</sup>Biotechnology Research Institute,  
Chinese Academy of Agricultural Sciences, *Beijing, China*

<sup>2</sup>Nitrogen Fixation Laboratory, Qi Institute, *Zhejiang, China*

*\*Corresponding authors: chengqi@caas.cn, hesamshahrajabian@gmail.com*

**Abstract.** Increase in the mean seasonal temperature can reduce the duration of many crops which may lead to final yield reduction. China needs to cope with the adverse effects of climate change by developing heat and drought resistant high yielding varieties and cultivars to ensure food security in China. Farmers should adapt to climate change strategies which integrate traditional experience and indigenous knowledge with scientific researches and government policies as key factors. Climate change will extend growing seasons for some crops and make shorter growing seasons for other crops in Northern part of China and will bring less reliable rains, soils that retain less water, the spread of dangerous pests and unwanted weeds. The catastrophic consequences of climate change can be avoided if all countries work and cooperate together towards significant reduction in the emission of greenhouse gases.

**Key words:** climate change, sustainability, agricultural production, China

#### Article history:

Received: 15 April 2019. Accepted: 1 October 2019

#### For citation:

Shahrajabian MH, Sun W, Cheng Q. Food security and sustainable crops production with considering climate change in China. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4):423–429. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-423-429

© Shahrajabian M.H., Sun W., Cheng Q., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **Introduction**

China encompasses various climate regimes from northern boreal to southern tropical and from western arid to eastern and southern humid climate zones. China has played a crucial role in advancing key elements of the foundations for future development and the global agenda by taking major steps to advance international cooperation, especially on climate change.

## **Materials and methods**

This short communication included randomized control experiments, review articles, observational and analytical designs which have been surveyed in Google Scholar, Scopus, Research Gate and PubMed by using keywords including climate change, sustainability and its influence on agricultural production in China. All relevant papers in both English and Chinese language were searched. All authors screened the articles first by reviewing related titles, then abstracted and after that going through the whole manuscripts.

## **Results and discussion**

The climate change scenarios considered in their study, agricultural net revenues would increase in most regions of China, except for the Northwest, the Southwest and parts of the Northeast, as a result of the projected increase in temperatures and precipitation levels. Li et al. [1] found that the climate change has a universally negative effect on Chinese agriculture and implies that a higher flexibility of maize producing timing and a better regional adaptation to climate change in Southwest region could offset or even to outweigh the potential reduction of maize production in Northeast region. Chen et al. [2] revealed that climate change would have major negative impacts on crop production, particularly for wheat in northern China, rice in South China and maize across the major cultivation areas due to a decrease in crop growth duration and an increase in extreme events. Tao and Zhang [3] concluded that a moderate increase in mean temperature and the increase in solar radiation would promote the yield increase by enhancing crop canopy photosynthesis and consequently biomass accumulation and yield. Zhu et al. [4] mentioned that a question relevant for the world as a whole is how the development of Chinese food consumption and production, given future socio-economic changes and climate change, will impact on the country's net crop trade and related net virtual water trade. Wang et al. [5] stated that the increase in effective irrigation by upgrading the irrigation system would help to maintain the current production of maize level, but in the long run, the maize cultivars need to be introduced in line with the future warming climate. In order to sustain agriculture industry, the Chinese government should take measures on environmental pollution and degradation, climate change and replace with new policies with the environment and ecology-friendly agricultural technologies. Li et al. [6] reported that western China was the most vulnerable area, where climate sensitive dry land agriculture was the primary economic activity. The Loess Plateau is a home to an estimated population upwards of 108 million, of which more than 70% are reported to be living and working in agricultural areas. Notable climate change has been observed on the Loess Plateau in recent decades, with air



temperature rising by 0.6 °C and annual precipitation decreasing by 3 mm per decade. Jiahua et al. [7] concluded that it is necessary to clarify development-oriented and incremental adaptation to climate change in China. Li et al. [8] explained that the expansion of maize was closely related to warming, although some variation in the distribution was noticed across zones in relation to the warming, indicating that maize in northeast of China have adapted successfully to the climate change. Yan et al. [9] claimed that by 2030, climate change was projected to increase water supply and demand gap for irrigation in Northeast China, and due to the increase in water scarcity, irrigated areas would decrease, and the cropping pattern would be adjusted by increasing maize sown areas and decreasing rice sown areas, and as a result, the total output of crops and profits would clearly be reduced. Wang et al. [5] reported that the government's major efforts should be in the developing new technologies, reforming extension system and enhancing institutional capacity, and farmers should adapt to climate change, but their adaptation measures can not fully offset the negative impacts of climate change. Options for adaptation to climate change include no action and accepting crop loss associated with the reduction in evapotranspiration or breeding new cultivars that would maintain or increase crop productivity and result in an increase in evapotranspiration. Chen et al. [10] found recently that climate change negatively impacted corn and soybean yield; they also stated that the effects of climate change on corn and soybean yields followed an inverse U shape, increasing up to a key temperature threshold and then decreasing thereafter, with thresholds of an average growing season temperature at 29 °C for corn and at 28 °C for soybeans. Wang et al. [11] mentioned the impacts of climate on Hunan Province crop yields, decomposing effects into three components: trends, annual fluctuations, and extreme events. Kan et al. [12] proved that climate change was expected to have a positive impact on the growth of Chinese fir in the Fujian region of China. Guo et al. [13] indicated that, warming of climate in Northeast China was expected to impact negatively spring maize production, especially in Liaoning province; in their view, spring maize cultivation would likely need to shift northward and expand eastward to make efficient use of future agricultural climatic resources. Ecosystems in northern and western parts of China are more vulnerable to climate changes than those in eastern China, while ecosystems in the east are more vulnerable to land use changes other than climate changes. Cropping systems based on biodiversity and sustainable soil management and using less chemical inputs could result in a satisfying compromise between food production, adaptation and mitigation to climate change. Future climate change may have very different effects from the past climate change since future climate changes are expected to be much larger. Considering climate change and population growth, water shortages will become more serious in northern areas such as Qinghai, Shanxi, Shaanxi, Ningxia, Xinjiang and Gansu. Guo et al. [14] noticed that the climate change had a significant adverse impact on climatic potential productivity of maize from 1961 to 2010 in China. According to Yu et al. [15] research, the rice yields in China are predicted to decrease in the 2040s by 0.22 t/ha due to climate change, to increase by 0.44 t/ha due to a constant growing season and to increase by 1.65 t/ha due to CO<sub>2</sub> fertilization. They do believe that the benefits of crop adaptation would completely offset the negative impact of climate change. Advanced inter-regional contracts and cooperation of policies to stabilize regional agricultural labour force could be

a cost-efficient risk mitigation strategy to mitigate the potential reduction of overall national maize production [16—26]. China's surface air temperature will continue to rise, with northern areas set to experience a greater increase than those in the south. Precipitation variability will increase, and extreme weather events will intensify. Extreme cold spells will begin to decline in China, whilst extreme hot weather will increase. The north-eastern, northern and north-western parts of China will experience hotter and drier summers, displaying clear signs of aridification. On the other hand, Central, eastern and southern China will experience markedly wetter summers but drier winters. Drier winters will be especially noticeable in southern China where summer floods and winter droughts will occur alternately. It remains necessary for local farmers to build a system of adaptive climate change strategies that combines traditional experience and indigenous knowledge with scientific researches and government policies as key factors.

### **Conclusions**

As China is a leader in shaping the global agenda of sustainable development and managing climate change, it can be also an important leader in driving forward the new growth to overcome poverty, confront climate change and address natural resource and environmental challenges. Climate change may cause reduction in crop yields and agricultural productivity, increase cost of food distribution, increase pest attacks, limit the availability of water, exacerbate the drought periods, reduce soil fertility, decrease livestock productivity and increase production cost, decrease health profile population, and increase tensions and conflict in different regions. Some activities like agricultural activities such as rice production, synthetic fertiliser use, livestock rearing, change in land use patterns such as deforestation and waste disposal have contributed to the increased atmospheric concentration of greenhouse gases. Climate change can lead to discern potential regional imbalances between supply and demand of agricultural products. With increasing of negative influence of climate change on agricultural production, a crop yield may decline which can lead to increase in agricultural product prices and finally, it may cause malnutrition. Strategies such as water-saving plans, water rationing and recycling of contaminated water with engineering projects can be implemented in China. Although, climate change may bring both positive and negative effects on agricultural production in China, but negative influence tend to dominate. Agricultural crop production systems are extremely sensitive to climate changes such as changes in temperature and precipitation which can lead to increase in number of pests and diseases, thereby reducing harvest index and finally affects the food security of Asian countries, especially China. Improving water productivity and keep sustainable relations with environment may decrease the adverse effect of climate change. In future, China should reduce the pressure on land and the resulting greenhouse gas emissions. The global cooperation is important for China to cope with the adverse impacts of climate change on food security and safety. Developing a strategy for food security may enhance availability through various climate agricultural responses and enhance sources for progress. The future researches in China should be for a better understanding of the responses of crops to changes in climate and influence of climate change on agricultural products, diseases, pests, and atmospheric constituents.

## References

1. Li X, Takahashi T, Suzuki N, Kaiser HM. Impact of climate change on maize production in Northeast and Southwest China and risk mitigation strategies. *APCBEE Procedia*. 2014; 8:11—20. doi: 10.1016/j.apcbee.2014.01.073
2. Chen Y, Zhang Z, Tao F. Impacts of climate change and climate extremes on major crops productivity in China at a global warming of 1.5 and 2.0 °C. *Earth System Dynamics*. 2018; 9(2):543—562. doi: 10.5194/esd-9-543-2018
3. Tao F, Zhang Z. Climate change, wheat productivity and water use in the North China Plain: A new super-ensemble-based probabilistic projection. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013; 170:146—165. doi: 10.1016/j.agrformet.2011.10.003
4. Zhuo L, Mekonnen MM, Hoekstra AY. Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China- with a focus on crop production, consumption and trade. *Environment International*. 2016; 94:211—223. doi: 10.1016/j.envint.2016.05.019
5. Wang JX, Huang JK, Yang J. (2014). Overview of impacts of climate change and adaptation in China's agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*. 2014; 13(1):1—17. doi: 10.1016/s2095-3119(13)60588-2
6. Li X, Philp J, Cremades R, Roberts A, He L, Li L, Yu Q. Agricultural vulnerability over the Chinese Loess Plateau in response to climate change: Exposure, sensitivity, and adaptive capacity. *The Royal Swedish Academy of Sciences*. 2015; 45(3):350—360. doi: 10.1007/s13280-015-0727-8
7. Jiahua P, Yan Z, Markandya A. Adaptation approaches to climate change in China: an operational framework. *Economia Agraria y Recursos Naturales*. 2011; 11(1):99—112. doi: 10.7201/earn.2011.01.05
8. Li Z, Tan J, Tang P, Chen H, Zhang I, Liu H, Wu W, Tang H, Yang P, Liu Z. Spatial distribution of maize in response to climate change in northeast China during 1980—2010. *Journal of Geographical Sciences*. 2016; 26(1):3—14. doi: 10.1007/s11442-016-1250-y
9. Yan T, Wang J, Huang J, Xie W, Zhu T. The impacts of climate change on irrigation and crop production in Northeast China and implications for energy use and GHG emission. *Proc. IAHS*. 2018; 379:301—311. doi: 10.5194/piahs-379-301-2018
10. Chen S, Chen X, Xu J. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2016; 76:105—124. doi: 10.1016/j.jeem.2015.01.005
11. Wang Z, Shi P, Zhang Z, Meng Y, Luan Y, Wang J. Separating out the influence of climatic trend, fluctuations, and extreme events on crop yield: A case study in Hunan Province, China. *Clim. Dyn.* 2018; 51(11—12):4469—4487. doi: 10.1007/s00382-017-3831-6
12. Kang H, Seely B, Wang G, Cai Y, Innes J, Zheng D, Chen P, Wang T. Simulating the impact of climate change on the growth of Chinese fir plantations in Fujian province, China. *New Zealand Journal of Forestry Science*. 2017; 47:20. doi: 10.1186/s40490-017-0102-6
13. Guo J, Zhao J, Yuan B, Ye M. Evaluation of agricultural climatic resource utilization during spring maize cultivation in Northeast China under climate change. *Acta Meteorologica Sinica*. 2013; 27(5):758—768. doi: 10.1007/s13351-013-0508-x
14. Guo J, Zhao J, Wu D, Mu J, Xu Y. Attribution of maize yield increase in China to climate change and technological advancement between 1980 and 2010. *Journal of Meteorological Research*. 2014; 28(6):1168—1181. doi: 10.1007/s13351-014-4002-x
15. Yu Y, Zhang W, Huang Y. Impact assessment of climate change, carbon dioxide fertilization and constant growing season on rice yields in China. *Climatic Change*. 2014; 124(4):763—775. doi: 10.1007/s10584-014-1129-9
16. Shahrajabian MH, Wenli S, Qi C. The power of natural Chinese medicine, ginger and ginseng root in an organic life. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2019; 27(1):64—71. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2019.64.71

17. Shahrajabian MH, Wenli S, Qi C. A review of goji berry (*Lycium barbarum*) in traditional Chinese medicine as a promising organic superfood and superfruit in modern industry. *Academia Journal of Medicinal Plant*. 2018; 6(12): 437—445. doi: 10.15413/ajmp.2018.0186
18. Shahrajabian MH, Soleymani A, Ogbaji PO, Xue X. Impact of different irrigation managements on soil water consumption, grain yield, seed protein, phosphorus and potassium of winter wheat. *Cercetari Agronomice in Moldova*. 2017; 50(3):5—13. doi: 10.1515/cerce-2017-0021
19. Shahrajabian MH, Soleymani A. A lysimeter study, a unique tool for botanists, agronomists and other plant scientists. *Asian Research Journal of Agriculture*. 2017; 4(2):1—9. doi: 10.9734/ARJA/2017/32492
20. Shahrajabian MH, Soleymani A, Ogbaji PO, Xue X. Survey on qualitative and quantitative traits of winter wheat under different irrigation treatments using weighing lysimeter in north China plain. *International Journal of Plant & Soil Science*. 2017; 15(4):1—11. doi: 10.9734/IJPSS/2017/32778
21. Ogbaji PO, Shahrajabian MH, Xue X. Changes in germination and primarily growth of three cultivars of tomato under diatomite and soil materials in auto-irrigation system. *International Journal of Biology*. 2013; 5(3):80—84. doi: 10.5539/ijb.v5n3p80
22. Shahrajabian MH, Xue X, Soleymani A, Ogbaji PO, Hu Y. Evaluation of physiological indices of winter wheat under different irrigation treatments using weighing lysimeter. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 2013; 2(24):1192—1197.
23. Shahrajabian MH, Sun W, Cheng Q. The influence of traditional Iranian and Chinese medicine on western and Islamic countries. *Asian Journal of Medical and Biological Research*. 2019; 5(2):94—99. doi: 10.3329/ajmbr.v5i2.42490
24. Shahrajabian MH, Sun W, Cheng Q. Clinical aspects and health benefits of ginger (*Zingiber officinale*) in both traditional Chinese medicine and modern industry. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*. 2019; 69(6):546—556. doi: 10.1080/09064710.2019.1606930
25. Shahrajabian MH, Sun W, Cheng Q. A review of ginseng species in different regions as a multipurpose herb in traditional Chinese medicine, modern herbology and pharmacological science. *Journal of Medicinal Plants Research*. 2019; 13(10):213—226. doi: 10.5897/JMPR2019.6731
26. Shahrajabian MH, Sun W, Cheng Q. Modern pharmacological actions of Longan fruits and their usages in traditional herbal remedies. *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2019; 7(4):179—185.

#### About authors:

*Shahrajabian Mohamad Hesam* — Doctor of Philosophy, Biotechnology Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100081, China; Nitrogen Fixation Laboratory, Qi Institute, Building C4, No.555 Chuangye Road, Jiaxing 314000, Zhejiang, China; e-mail: hesamshahrajabian@gmail.com

*Sun Wenli* — Biotechnology Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100081, China; Nitrogen Fixation Laboratory, Qi Institute, Building C4, No. 555 Chuangye Road, Jiaxing 314000, Zhejiang, China

*Cheng Qi* — Doctor of Philosophy, Biotechnology Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, 100081, China; Nitrogen Fixation Laboratory, Qi Institute, Building C4, No. 555 Chuangye Road, Jiaxing 314000, Zhejiang, China; e-mail: chengqi@caas.cn

## Продовольственная безопасность и ведение устойчивого сельского хозяйства с учетом изменения климата в Китае

М.Х. Шахраджабян\*<sup>1,2</sup>, Вэньли Сун<sup>1,2</sup>, Ци Чэн\*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт биотехнологии,  
Китайская академия сельскохозяйственных наук, Пекин, Китай

<sup>2</sup>Лаборатория фиксации азота, Институт Ци, Чжэцзян, Китай

\*chengqi@caas.cn, hesamshahrajabian@gmail.com

**Аннотация.** Приведен краткий обзор исследований климатических изменений и их негативного влияния на растениеводство в регионах Китая. Повышение показателей средней температуры в течение сезона может повлиять на продолжительность вегетации многих культур, вызвав тем самым снижение урожайности. В северной части Китая увеличится продолжительность вегетационного периода у одних культур и сократится у других. Кроме того, изменения коснутся и количества осадков, увлажненности почв, распространения опасных вредителей и сорняков. Результаты анализа исследований обосновывают необходимость разработки жаростойких и засухоустойчивых высокопродуктивных сортов и сортов, способных обеспечить продовольственную безопасность страны. Рекомендуется адаптировать фермерские хозяйства к стратегиям, объединяющим традиционный опыт и знания коренных народов с научными исследованиями и государственной политикой, в качестве ключевого фактора успешного преодоления неблагоприятных последствий изменения климата. Отмечена важнейшая роль сотрудничества всех стран в целях значительного сокращения выбросов парниковых газов.

**Ключевые слова:** изменение климата, устойчивость, сельскохозяйственное производство, Китай

### История статьи:

Поступила в редакцию: 15 апреля 2019 г. Принята к публикации: 1 октября 2019 г.

### Для цитирования:

Shahrajabian M.H., Sun W., Cheng Q. Food security and sustainable crops production with considering climate change in China // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 423—429. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-423-429

### Об авторах:

Шахраджабян Мохамед Хесам — доктор философии, Научно-исследовательский институт биотехнологии, Китайская академия сельскохозяйственных наук, Китай, Пекин, 100081; Лаборатория азотфиксации, Институт Ци, Китай, Чжэцзян, 314000, Цзясин, Чуанье-роуд, № 555, корпус С4; e-mail: hesamshahrajabian@gmail.com

Сунь Вэньли — Научно-исследовательский институт биотехнологии, Китайская академия сельскохозяйственных наук, Китай, Пекин, 100081; Лаборатория азотфиксации, Институт Ци, Китай, Чжэцзян, 314000, Цзясин, Чуанье-роуд, № 555, корпус С4

Чэн Ци — доктор философии, Научно-исследовательский институт биотехнологии, Китайская академия сельскохозяйственных наук, Китай, Пекин, 100081; Лаборатория азотфиксации, Институт Ци, Китай, Чжэцзян, 314000, Цзясин, Чуанье-роуд, № 555, корпус С4; e-mail: chengqi@caas.cn



DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-430-436

Research article

## Molecular identification of *Ditylenchus destructor* nematode with PCR Species-Specific primers in the Moscow region

Niloufar Mahmoudi<sup>1,2\*</sup>, Yousef Naserzadeh<sup>1,2</sup>, Elena N. Pakina<sup>1</sup>,  
Liudmila A. Limantceva<sup>2</sup>, Davoud K. Nejad<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Russian Plant Quarantine Center (VNIIKR),  
Moscow region, Russian Federation

<sup>3</sup>Semnan University, Semnan, Iran

\*Corresponding author: niloofarmahmoodi@ymail.com

**Abstract.** Potato (*Solanum tuberosum* L.) is one of the most vital food and industrial crop and *Ditylenchus destructor* is an influential pathogenic potato nematode and is quarantine pest in many states and territories. As a result, the polymerase chain reaction (PCR) protocol was optimized to identify *Ditylenchus destructor* reliably and rapidly. The species-specific internal transcribed spacer (ITS) was used as the primer of the *D. destructor* ribosomal DNA gene. Some populations of this species from the Moscow region in the Russian Federation were investigated through species-specific primer PCR. New sequence from ITS-rRNA was deposited in the GenBank under accession number MN122076. The current molecular technique is more appropriate to distinguishing of nematode species, since it is practical, fast and precise.

**Key words:** Potato, diagnosis, *Ditylenchus destructor*, PCR Species-Specific, nematode, ITS

### ACKNOWLEDGMENTS

The research has been conducted with the support of the «RUDN University Program 5-100».

### Article history:

Received: 5 September 2019. Accepted: 29 November 2019

### For citation:

Mahmoudi N, Naserzadeh Y, Pakina E, Limantceva L, Nejad DK. Molecular identification of *Ditylenchus destructor* nematode with PCR Species-Specific primers in the Moscow region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):430—436. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-430-436

© Mahmoudi N., Naserzadeh Y., Pakina E.N., Limantceva L.A., Nejad D.K., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Introduction

Potato is assaulted by several nematodes, belonging to different species which can sustain and duplicate on tubers causing immediate and circuitous misfortunes [1]. Major nematode species of potato include *Globodera* spp., *Meloidogyne* spp., *Nacobbus aberrans*, *Ditylenchus* spp, and *Pratylenchus* spp. [2]. Several other nematodes species are also associated with potato, however, their monetary significance has not been appropriately evaluated [2]. Some nematode species recently viewed as non-harming to crops are ceaselessly announced as a risk to trim creation because of the impact of environmental change [3] and fluctuating trimming designs [4]. The genus *Ditylenchus* (Nematoda: Anguinidae) involves numerous cosmopolitan species and is known to have the most stretched out effect on agriculture [5]. *Ditylenchus destructor* is regularly alluded to as the potato tuber decay nematode, which is far-reaching and significant in cool and sticky situations [6, 7]. As per (EPPO, 2007) [8], potato rot nematode is accounted for to be available in over 70% of the part nations of the association in the European domains. Potato decay nematode may spread by the material planted as well as utilizing water system water. It has been demonstrated that it has general inclination to cause harm in colder and increasingly damp territories (EPPO/CABI,1997) [9]. On the other hand, the general isolate guidelines against the potato decay nematode in European regions have been nullified, as it was expelled from EPPO quarantine list in 1984, due to its extremely wide circulation in the area (EPPO, 1987, 1988) [9]. Thusly, there is an expanding request by nematode taxonomists to survey these nematodes with various points. One of the points is to grow new apparatuses for agronomic administration and to address the isolate guidelines prerequisites [10, 11]. Exact recognizable proof of *D. destructor* is significant for the screening of plant germplasm to reproduce and improvement of safe cultivars. Rather than morphometric information, nematode ID utilizing various molecular apparatuses gives precise and quick personality of species under examinations. The European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) offers an analytic convention for *D. destructor* (EPPO, 2008). The current method recommended by the EPPO for diagnosis of *D. destructor* was developed by Marek et al. [12]. Aim of the present study was to use a fast and affordable PCR-based diagnostic method capable of the unambiguous identification of *D. destructor*.

## Materials and methods

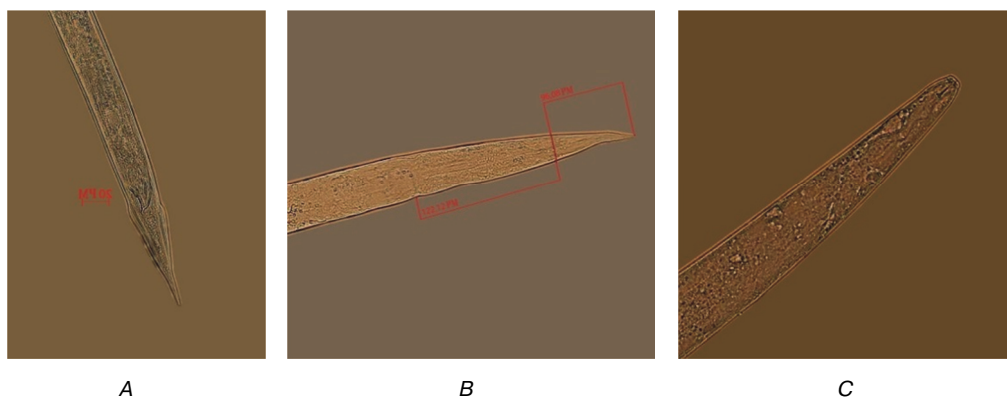
**DNA extraction.** Nematodes were extracted from potatoes (*Solanum tuberosum* L.) collected in Russia, Moscow region. Several nematode specimens from the population were put into a drop of water and cut by a scalpel under a camera-equipped ZEISS Axioskop50® microscope. DNA extraction from the material in this research was laid out by treating the specimens with Proteinase K that was followed by removing proteins with no extraction with organic solvents. For this purpose, a DNA-Ekstran-2 set No EX-511-100 (Synthol, Moscow) was used.

**PCR with species-specific primer.** The species-specific PCR reaction was performed with samples (final volume 25 µl), containing 5 µl of 10X reaction buffer, 0.6 µl of each primer (DIT des R, DIT uni F), 13.8 µl sterile distilled water and 5 µl DNA. Amplification conditions for the reaction were as follows: denaturation for 3 minutes at 95 °C; 35 cycles at 95 °C for 30 seconds, 64 °C for 30 seconds and 72 °C for 30 seconds; a final extension at 72 °C for 5 min.

**Sequence analysis.** Sequencing was done by the generally accepted protocol with the use of Genetic Analyzer AB-3500 (Applied Biosystems, USA). Primary comparison for the results of the sequence with the GeneBank genetic sequence database was performed by the NCBI BLAST web site (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>). BioEdit v.7.0.5.3, sequence alignment editor was used for sequence checking, alignment, and editing. Pairwise genetic distances between the sequences were recognized by Kimora's two-parameter model. The new sequence obtained in the present study was submitted to the GenBank database under the accession numbers MN122076.

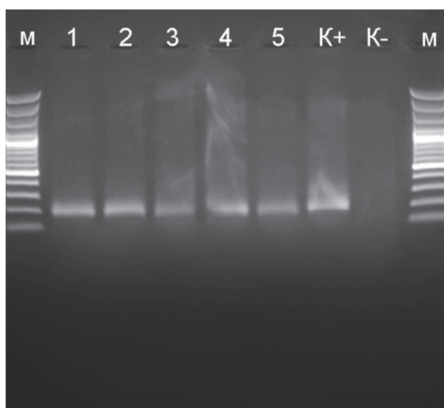
### Results and discussion

Identification of plant parasites that adversely influence agro financial matters is a significant issue for compelling yield insurance. Specifically compelling are those pests that ought to be dispensed with or contained attributable to their isolate status, which forces a flat out lawful commitment in the European Union to restrict and eradicate plants infested with such pests. In this research, we built up the species-specific primer for indication of *Ditylenchus destructor* (Fig. 2). The primers were tested with samples from the Moscow region. PCR with species-specific primer was produced for separation of *D. dipsaci* and *D. gigas* utilizing species-specific SCAR or ITS-rRNA primers [12—15]. The results of the present investigation demonstrate extraidentification of *D. destructor* from different types of this genus by a PCR species-specific method. To improve interpretation of results, high-resolution agarose gels can be utilized during electrophoresis. Given the lengths of the *D. destructor* ITS1 sequences change significantly, seven haplotypes exist; the main accessible strategies that possibly can separate among the haplotypes are those of Subbotin et al. (2005) [14, 16] and Liu et al. (2007) [17, 18]. Respect to the explicitness, affectability, and speed, the portrayed indicative conventions can be utilized for discovery purposes by phytosanitary diagnosticians to limit the spread of destructive *Ditylenchus* species during fare and import of plants and plant items. On account of the wide host scope of *Ditylenchus*, the utilization of species-specific PCR indication ought to quicken screening for it during the exchange.



**Fig. 1.** Micrographs of diagnosing characteristics for nematodes found in potato tubers:  
A — Male bursa and tail; B — female vulva, Anus and tail; C — head and stylet





**Fig. 2.** Gel with amplification products obtained in PCR with species-specific primer.  
Lanes: M = 100 bp DNA ladder (Promega); K- = control without DNA

### Conclusions

In summary, the analysis of ITS-rRNA gene from several *destructor* samples collected in the Moscow region with species-specific PCR primer allowed us to confirm their species identification and suggest the effective and rapid distinguishing technique. These results will be especially important for accurate detection of *Ditylenchus* spp. which will have implications in the development of resistant cultivars. Although the comparison of the sequence obtained from this study with Genbank has shown 98 percent similarity with species *D. destructor* in the world that is a good indicator for our identity.

### References

1. López M, Riegel R, Lizana C, Behn A. Identification of virus and nematode resistance genes in the Chilota Potato Genebank of the Universidad Austral de Chile. *Chilean journal of agricultural research*. 2015; 75(3):320—327. doi: 10.4067/S0718-58392015000400008
2. Scurrah MI, Niere B, Bridge J. Nematode parasites of solanum and sweet potatoes. In: Luc M, Sikora RA, Bridge J. (eds.) *Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture*. 2nd ed. Wallingford, UK: CABI Publishing; 2005. p. 193—219. doi: 10.1079/9780851997278.0193
3. Hijmans RJ. The effect of climate change on global potato production. *American journal of potato research*. 2003; 80(4):271—279. doi: 10.1007/BF02855363
4. Nicol JM, Turner SJ, Coyne DL, Den Nijs L, Hockland S, Maafi ZT. Current nematode threats to world agriculture. In: Jones J, Gheysen G, Fenoll C. (eds.) *Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions*. Dordrecht: Springer; 2011. p. 21—43. doi: 10.1007/978-94-007-0434-3\_2
5. Fortuner R. On the genus *Ditylenchus* Filipjev, 1936 (Nematoda: Tylenchida). *Revue Nematol.* 1982; 5(1):17—38.
6. Thorne G. *Ditylenchus destructor* n. sp. the potato rot nematode, and *Ditylenchus dipsaci* (Kühn, 1857) Filipjev, 1936, the teasel nematode (Nematoda: Tylenchidae). *Proceedings of the helminthological Society of Washington*. 1945; 12(2):27—34.
7. Plowright RA, Caubel G, Mizen KA. Plant resistance to parasitic nematodes. In: Starr JL, Cook R, Bridge J. (eds.) *Ditylenchus species*. Wallingford, UK: CABI Publishing; 2002. p. 107—139. doi: 10.1079/9780851994666.0107
8. Hodda M, Nobbs J. A review of current knowledge on particular taxonomic features of the Australasian nematode fauna, with special emphasis on plant feeders. *Australasian Plant Pathology*. 2008; 37(3):308—317. doi: 10.1071/AP08024

9. Kruus E. Impact of trade on distribution of potato rot nematode (*Ditylenchus destructor*) and other plant nematodes. *Agronomy Research*. 2012; 10(1-2):319—328.
10. Powers TJARP. Nematode molecular diagnostics: from bands to barcodes. *Annu Rev Phytopathol*. 2004; 42:367—383. doi: 10.1146/annurev.phyto.42.040803.140348
11. Naserzadeh Y, Kartoolinejad D, Mahmoudi N, Zargar M, Pakina E, Heydari M, Astarkhanova T, Kavhiza NJ. Nine strains of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*: Effects on growth indices, seed and yield production of *Carthamus tinctorius* L. *Research on Crops*. 2018; 19(4):622—632. doi: 10.31830/2348-7542.2018.0001.39
12. Marek M, Zouhar M, Rysanek P, Havranek P. Analysis of ITS sequences of nuclear rDNA and development of a PCR-based assay for the rapid identification of the stem nematode *Ditylenchus dipsaci* (Nematoda: Anguinidae) in plant tissues. *Helminthologia*. 2005; 42(2):49—56.
13. Esquibet M, Grenier E, Plantard O, Andaloussi FA, Caubel G. DNA polymorphism in the stem nematode *Ditylenchus dipsaci*: development of diagnostic markers for normal and giant races. *Genome*. 2003; 46(6):1077—1083. doi: 10.1139/g03-072
14. Subbotin SA, Madani M, Krall E, Sturhan D, Moens M. Molecular diagnostics, taxonomy, and phylogeny of the stem nematode *Ditylenchus dipsaci* species complex based on the sequences of the internal transcribed spacer-rDNA. *Phytopathology*. 2005; 95(11):1308—1315. doi: 10.1094/PHYTO-95-1308
15. Naserzadeh Y, Mahmoudi N. Chelating effect of black tea extract compared to citric acid in the process of the oxidation of sunflower, canola, olive, and tallow oils. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 2018; 12 (5): 5. doi: 10.13140/RG.2.2.12552.26887
16. Fand BB, Amala U, Yadav D, Rathi G, Mhaske SH, Upadhyay A, et al. Bacterial volatiles from mealybug honeydew exhibit kairomonal activity toward solitary endoparasitoid *Anagyrus dactylopii*. *Journal of Pest Science*. 2019:1—12. doi: 10.1007/s10340-019-01150-4
17. OEPP/EPPO. PM 7/87(2) *Ditylenchus destructor* and *Ditylenchus dipsaci*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 2017; 47(3):401—419. doi: 10.1111/epp.12433
18. Naserzadeh Y, Mahmoudi N, Pakina E. Antipathogenic effects of emulsion and nanoemulsion of cinnamon essential oil against *Rhizopus* rot and grey mold on strawberry fruits. *Foods and Raw materials*. 2019; 7(1):210—216. doi: 10.21603/2308-4057-2019-1-210-216

#### About authors:

*Mahmoudi Niloufar* — PhD candidate, Department of Agro-Biotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Researcher, Russian Plant Quarantine Center (VNIIKR), 32, Pogranichnaya st., vill. Bykovo, Ramensky district, Moscow region, 140150, Russian Federation; e-mail: niloofarmahmoodi@yandex.com

*Naserzadeh Yousef* — PhD candidate, Department of Agro-Biotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Researcher, Russian Plant Quarantine Center (VNIIKR), 32, Pogranichnaya st., vill. Bykovo, Ramensky district, Moscow region, 140150, Russian Federation; e-mail: unaserzadeh@gmail.com

*Pakina Elena* — PhD, Associate Professor, Department of Agro-Biotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: e-pakina@yandex.ru

*Limantseva Liudmila* — PhD, Senior scientist, Plant Quarantine Center (VNIIKR), 32, Pogranichnaya st., vill. Bykovo, Ramensky district, Moscow region, 140150, Russian Federation; e-mail: Limantseva.ludmila@vniikr.ru

*Nejad Davoud Kartuli* — Assistant Professor of Forestry, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Mowlawi Boulevard, Motahari Square, 35196-45399, Semnan, Iran; e-mail: Kartooli58@gmail.com

## Молекулярная идентификация нематоды *Ditylenchus destructor* методом полимеразной цепной реакции с использованием специфических праймеров в Московской области

Н. Махмуди<sup>1,2\*</sup>, Ю. Насерзаде<sup>1,2</sup>, Е.Н. Пакина<sup>1</sup>,  
Л.А. Лиманцева<sup>2</sup>, Д.К. Неджад<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Всероссийский центр карантина растений (ВНИИКР),  
Московская область, Российская Федерация

<sup>3</sup>Университет Семнан, Семнан, Иран

\*niloofarmahmoodi@ymail.com

**Аннотация.** Картофель *Solanum tuberosum* L. — одна из наиболее важных продовольственных и технических культур, а *Ditylenchus destructor* является патогенной нематодой картофеля и числится в качестве карантинного вредного организма во многих странах и регионах. Поэтому был оптимизирован протокол полимеразной цепной реакции (ПЦР), который надежно и быстро идентифицирует деструктор *Ditylenchus*. Видоспецифичный внутренний транскрибируемый спейсер (ITS) использовали в качестве праймера гена рибосомальной ДНК деструктора *Ditylenchus*. Некоторые популяции этого вида в Московской области были исследованы с помощью видоспецифического праймера ПЦР. Новая последовательность из ITS-rРНК была депонирована в GenBank под инвентарным номером MN122076. Современная молекулярная техника лучше подходит для различения видов нематод, поскольку она практична, быстра и точна.

**Ключевые слова:** картофель, диагностика, *Ditylenchus destructor*, видоспецифический праймер, полимеразная цепная реакция, нематода, внутренний транскрибируемый спейсер, ITS

### БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование проведено при финансовой поддержке Программы РУДН «5-100».

### История статьи:

Поступила в редакцию: 5 сентября 2019 г. Принята к публикации: 29 ноября 2019 г.

### Для цитирования:

Mahmoudi N, Naserzadeh Y, Pakina E.N., Limantceva L.A., Nejad DK. Molecular identification of *Ditylenchus destructor* nematode with PCR Species-Specific primers in the Moscow region // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 430—436. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-430-436

### Об авторах:

Махмуди Нилоуфар — аспирант, агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8; научный сотрудник Всероссийского центра карантина растений, Российская Федерация, Московская область, 140150, Раменский район, п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: niloofarmahmoodi@ymail.com

*Насерзаде Юсеф* — аспирант, агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 8; научный сотрудник Всероссийского центра карантина растений, Российская Федерация, Московская область, 140150, Раменский район, п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: unaserzadeh@gmail.com

*Пакина Елена Николаевна* — кандидат биологических наук, доцент, агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: e-pakina@yandex.ru

*Лиманцева Людмила Алексеевна* — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский центр карантина растений (ВНИИКР), Российская Федерация, Московская область, 140150, Раменский район, п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: Limantseva.ludmila@vniikr.ru

*Недждад Давуд Картули* — доцент кафедры лесоводства, факультет исследований пустынь, Университет Семнан, Иран, 35196-45399, Семнан, площадь Мотахари, бульвар Молави; e-mail: Kartooli58@gmail.com



## Защитное лесоразведение Protective afforestation

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-437-452  
УДК 634.0.232.411.1

Научная статья / Research article

### Scientific support of production experiments in forest plantations of green zone in Nur-Sultan city

Svetlana A. Kabanova<sup>1\*</sup>, Andrey N. Kabanov<sup>1</sup>,  
Ardak A. Khasenov<sup>2</sup>, Matvey A. Danchenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry,  
*Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan*

<sup>2</sup>Astana Ormany company, *Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan*

<sup>3</sup>Tomsk State University, *Tomsk, Russian Federation*

\*Corresponding author: [Kabanova.05@mail.ru](mailto:Kabanova.05@mail.ru)

**Abstract.** Natural and climatic conditions of the green zone of Nur-Sultan (Kazakhstan) are unfavorable for tree and shrub species due to low soil fertility, sharply continental climate and other factors. The purpose of the research was to choose an assortment of stable introducents for Nur-Sultan green zone. The monitoring of growth and condition of artificial plantations included the selection of an assortment of stable coniferous introducents. The objects of research were coniferous introducents, which were planted in 2011 as container annual seedlings and three-year-old seedlings with open root system. According to the results of observations of conservation, taxation indicators and condition of artificial plantations, it was revealed that for the soil and climatic conditions of the research region, *Picea nigra* and *Picea sibirica* turned out to be the most adapted. *Quercus robur* was also characterized by good growth, but in the first years after planting, it was significantly damaged by late spring frosts and rodent ingestion. *Larix sibirica*, despite the fact that most of its plants died in the first years after planting, has adapted to soil and climatic conditions now and grows well enough and has a satisfactory condition. The safety of introduced plants planted with annual seedlings with a closed and open root system was practically the same and at the age of 8 it was 62.6 and 64.9%, respectively. It was revealed that it is better to plant crops with older seedlings (3–4 years old), because cultivation of annual seedlings with closed root system requires large financial and labor investments due to prolonged manual care. Therefore, to create artificial plantations in the green zone of Nur-Sultan, *Picea sibirica*, *Picea nigra* and *Quercus robur* can be recommended. When growing them, it is necessary to carry out thorough agro-technical cares and protection from rodents.

**Key words:** suburban forests, coniferous introduced species, conservation, growth

© Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Хасенов А.А., Данченко М.А., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

#### **AUTHOR CONTRIBUTIONS**

S.A. Kabanova analyzed the data and wrote the manuscript; M.A. Danchenko analyzed the data and wrote the manuscript; A.N. Kabanov collected and analyzed the data; A.A. Khasenov collected the data.

#### **RESEARCH FUNDING**

Astana ormany company supported the research.

#### **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors are grateful for the assistance given by V.A. Bortsov, I.S. Kochegarov and P.F. Shakhmatov.

#### **CONFLICTS OF INTEREST**

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

#### **Article history:**

Received: 16 October 2019. Accepted: 20 November 2019

#### **For citation:**

Kabanova S.A., Kabanov A.N., Khasenov A.A., Danchenko M.A. Scientific support of production experiments in forest plantations of green zone in Nur-Sultan city. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):437—452. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-437-452

## **Научное сопровождение производственных опытов в лесных культурах зеленого пояса г. Нур-Султан**

**С.А. Кабанова<sup>1\*</sup>, А.Н. Кабанов<sup>1</sup>, А.А. Хасенов<sup>2</sup>, М.А. Данченко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Казахский научно-исследовательский лесного хозяйства  
и агролесомелиорации, *Щучинск, Казахстан*

<sup>2</sup>ТОО «Астана орманы», *Нур-Султан, Казахстан*

<sup>3</sup>Томский государственный университет, *Томск, Российская Федерация*

\*Kabanova.05@mail.ru

**Аннотация.** Природно-климатические условия расположения зеленого пояса столицы Казахстана города Нур-Султан являются неблагоприятными для произрастания древесных и кустарниковых пород из-за низкой плодородности почвы, резко-континентального климата и других факторов. Цель исследований — выбор ассортимента устойчивых интродуцентов в зеленом поясе г. Нур-Султан. В задачу мониторинга роста и состояния искусственных насаждений входил выбор ассортимента устойчивых хвойных интродуцентов. Объектами исследований были лесные культуры хвойных интродуцентов, посаженные в 2011 г. однолетними сеянцами с закрытой корневой системой (ЗКС) и трехлетними сеянцами с открытой корневой системой (ОКС). По результатам наблюдений за сохранностью, таксационными показателями и состоянием искусственных насаждений выявлено, что для почвенно-климатических условий региона исследований наиболее приспособленными оказались интродуценты рода Ель — ель черная и сибирская. Также хорошим жизненным состоянием характеризовался дуб черешчатый, но в первые годы после посадки он подвергался значительным повреждениям поздне-весенними заморозками и объеданию грызунами. Лиственница сибирская,

несмотря на то, что большинство растений погибло в первые годы после посадки, в настоящее время приспособилась к почвенно-климатическим условиям и достаточно хорошо растет и имеет удовлетворительное состояние. Сохранность интродуцентов, посаженных однолетними сеянцами с закрытой и открытой корневой системой, практически не различалась и в 8-летнем возрасте составила соответственно 62,6 и 64,9%. Выявлено, что лучше высаживать культуры сеянцами более старшего возраста (3—4-летними), так как выращивание однолетних саженцев ЗКС требует больших финансовых и трудовых вложений из-за продолжительных ручных уходов. Следовательно, для создания искусственных насаждений в зеленом поясе г. Нур-Султана можно рекомендовать ель сибирскую, ель черную и дуб черешчатый. При их выращивании необходимо проводить тщательные агротехнические уходы и защиту от грызунов.

**Ключевые слова:** пригородные леса, хвойные интродуценты, сохранность, рост

**Информация о вкладе каждого автора.** Участие авторов: Кабанова С.А. — анализ полученных данных, написание текста; Данченко М.А. — анализ полученных данных, написание текста, Кабанов А.Н. — сбор и обработка материалов, Хасенов А.А. — сбор материалов.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность сотрудникам КазНИИЛХА, принимавшим участие в работе: В.А. Борцову, И.С. Кочегарову, П.Ф. Шахматову.

**Информация о финансировании.** Источником финансирования научной работы является ТОО «Астана орманы».

**Информация о конфликте интересов.** Авторы гарантируют, что конфликта интересов (финансовые отношения, служба или работа в учреждениях, имеющих финансовый или политический интерес к публикуемым материалам, должностные обязанности и др.), способного повлиять на авторов рукописи и привести к сокрытию, искажению данных, или изменить их трактовку не имеется.

#### **История статьи:**

Поступила в редакцию 16 октября 2019 г. Принята к публикации 20 ноября 2019 г.

**Для цитирования:** Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Хасенов А.А., Данченко М.А. Научное сопровождение производственных опытов в лесных культурах зеленого пояса г. Нур-Султан // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 437—452. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-437-452

## **Introduction**

Suburban forests in green zones around cities and other settlements have undeniable benefits — they reduce the influence of adverse weather and environmental factors, improve the aesthetic situation, are used as recreation for population and perform many other functions [1—3]. Therefore, great attention is paid everywhere to the creation, conservation, and reconstruction of suburban forests [4—6]. The climatic conditions of Nur-Sultan (Kazakhstan) are unfavorable for tree and shrub species due to the low soil fertility, sharply continental climate and other factors [7, 8]. For these reasons, large labor and financial costs are required for creation, maintenance and survival of artificial plantings of the suburban zone, and because of soil salinity, inclusion of salt tolerant plants in the assortment is necessary [9]. Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, jointly with Astana ormany company, participates in the laying and monitoring of scientific and production experiments in artificial plantings of the green zone [10, 11].

The aim of the research was to determine the most appropriate wood species introduced into the green zone of Kazakhstan capital that are most adapted to adverse soil and climatic conditions. Monitoring the growth and condition of artificial plantations, they solved the problem of choosing an assortment of stable coniferous introducers.

### Materials and methods

The objects of research were forest crops of coniferous introducers planted in 2011. Coniferous introducers were obtained from Russian nurseries in the form of one- and three-year-old seedlings with open and closed root system. Annual seedlings of Siberian spruce was planted with open root system, and seedlings with closed root system were 3—4 years old. In addition to introducers, native *Pinus sylvestris* seedlings were planted in Nur-Sultan.

Monitoring was carried out on permanent trial plots laid in the most representative places of forest crops. Each sample had at least 200 trees, for which continuous observations were made. Quantitative traits were measured: the height of the trees was determined with a measuring rod with an accuracy of 1 cm, the trunk diameter — with a vernier caliper with an accuracy of 0.1 cm. In introduced crops that did not reach a 2 m height, the stem diameter was measured at the base of the root neck and for trees above 2 m — at an altitude of 1.3 m [12, 13].

Fruiting and condition of trees was visually determined by a 5-point system, the highest score was assigned to trees with the highest bearing and the best condition. Survival of crops was calculated as the ratio of number of living to the number of dead trees, so 50% of doubtful trees related to the dead ones, and 50% — to living trees.

### Results and discussion

In 2019, the average survival of coniferous introducers planted with annual container seedlings varied from 19.6 to 62.6%. Engelmann spruce had a large number of dubious trees, which indicated instability of plants state. Siberian spruce was the best preserved (62.6%), and only 0.3% of dubious trees were observed, the rest of the plants were in good condition (4.2 points). This year's (2019) Balsam fir died completely; in 2018, its survival was 8.8%. Weak growth and a large dying-out of Balsam fir was noted immediately after planting.

Siberian spruce is the leader among coniferous introducers with open root system, whose survival continues to remain at a high level (64.9%) this year. The lowest survival index (16.5%) was found in Siberian fir. The examination revealed it was highly exposed to solar radiation (burned needles), in some cases leading to plant death. The introducer Siberian larch and native Scots pine (open root system) had low survival level — 28.1 and 23.4%, respectively.

Survival of Common oak (open root system) was 1% higher than in 2018 and amounted to 88.4% in 2019, which was associated with overgrowth renewal of seedlings. A large number of dubious trees of Common oak is associated with rodent trunks damage and late spring frost influence.

When comparing the average survival of seedlings, it was higher for open root seedlings (44.3%) than for closed root seedlings (35.8%) (Table 1).



Table 1

**Average survival of forest species in Nur-Sultan green zone**

Species	Number of plants				Survival, %
	total	alive	dead	doubtful	
Closed root seedlings					
<i>Abies balsamea</i>	224	0	0	0	0
<i>Picea engelmannii</i>	2 126	1 126	961	39	53.8
<i>Picea pungens</i>	5 367	2 294	3 045	28	43.0
<i>Picea nigra</i>	1 784	350	1 434	0	19.6
<i>Picea obovata</i>	989	618	369	2	62.6
average					35.8
Open root seedlings					
<i>Picea obovata</i>	8 713	5 647	2 788	11	64.9
<i>Pinus sylvestris</i>	5 657	1 302	4 312	43	23.4
<i>Quercus robur</i>	4 451	3 915	375	43	88.4
<i>Abies sibirica</i>	2 195	279	1 916	0	16.5
<i>Larix sibirica</i>	2 741	769	1 967	5	28.1
average					44.3

Table 2

**Growth of forest species in Nur-Sultan green zone**

Species	Diameter, cm		Height, cm		Growth, cm	
	X±m	V, %	X±m	V, %	X±m	V, %
Open root seedlings						
<i>Pinus sylvestris</i> *	3.2±0.1	41.3	246.8±7.0	34.6	39.1±1.1	35.5
<i>Abies sibirica</i>	1.9±0.08	43.0	82.4±3.8	47.4	15.4±1.1	73.0
<i>Picea obovata</i>	1.8±0.04	40.5	154.8±2.0	24.6	31.2±0.7	40.6
<i>Larix sibirica</i> *	2.3±0.07	42.6	243.8±4.7	27.3	47.7±1.0	29.9
<i>Quercus robur</i> *	2.6±0.06	44.1	278.6±6.2	38.4	46.7±1.3	38.0
Closed root seedlings						
<i>Picea nigra</i>	2.0±0.05	34.2	138.3±3.5	31.6	28.8±1.3	53.9
<i>Picea engelmannii</i>	2.3±0.04	29.4	121.5±2.6	32.9	26.0±0.6	37.3
<i>Picea pungens</i>	1.9±0.04	39.9	115.6±1.9	36.0	24.3±0.6	55.2
<i>Picea obovata</i>	1.0±0.06	43.4	138.7±4.8	35.0	33.0±1.2	37.5

Note: \*diameter was measured at 1.3 m height.

Although the survival of black spruce was low, its condition was generally satisfactory (3.9 points). In addition, this species had fruiting. The number of cones per 1 plant ranged from 3 to 45. The cone sizes averaged 2.0...2.5 cm in length and 1.3...1.5 cm in diameter. The fruiting trees had a very decorative appearance due to red-violet color and beautiful shape of cones. The first fruit bearing was noted in 2018, at the 7th year of growing.

Consider the data on height, growth and diameter of introduced trees planted with open root system (Table 2).

Among coniferous open root introducers, Siberian larch had the largest diameter and height — 2.3 and 243.8 cm in 2019, respectively, the trees were in good condition. The growth of all coniferous introducers and Scots pine varied at a very high level

in diameter (coefficient of variation  $V$  was 40.5...43.0%) and at high and very high level in height ( $V = 24.6...47,4$ ). Siberian fir trees differed in height most of all the trees. The height of the Common oak, as a faster-growing breed, averaged 278.6 cm and an average diameter of 2.6 cm, but was also a strong differentiation of trees in growth. Common pine, as more adapted to the local conditions species, had good growth indicators both in height and in diameter.

Among the crops planted with closed root, Black spruce and Siberian spruce prevailed in height, and had the similar characteristics. Engelmann spruce with a small height (121.5 cm) had the largest diameter (2.3 cm), which was associated with biological characteristics of the species. Prickly spruce lagged behind other spruce species in height, but was slightly inferior to Black spruce and Engelmann spruce in diameter.

Comparing Siberian spruce, trees planted with closed root lagged by 10.4% in height and 44.4% in diameter compared to open root trees. But on the basis of the data obtained, it is impossible to draw a conclusion about the priority of planting seedlings with open root, since the biological age of seedlings in plants differs by 2 years.

Since growth indicators vary significantly, an analysis of the minimum, maximum and average values was carried out (Table 3).

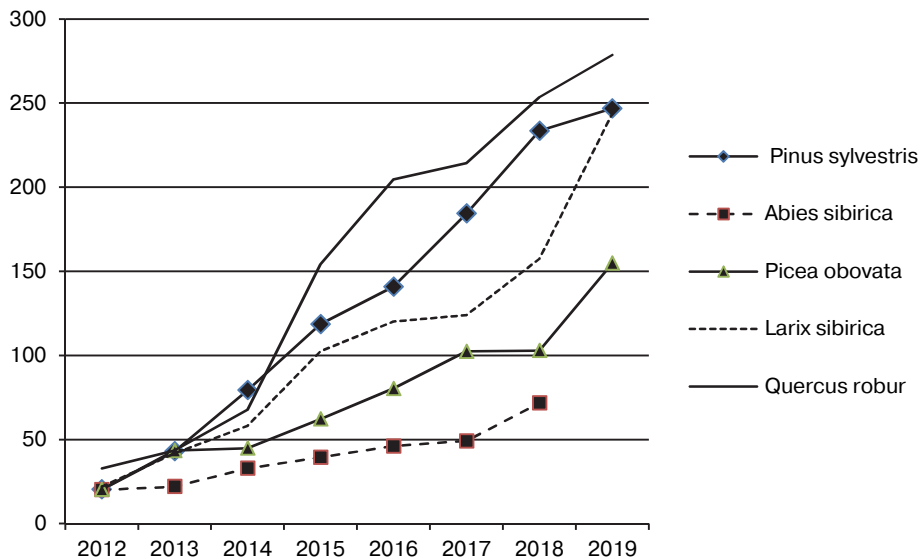
Table 3

The limits of the values of the growth of introduced forest species

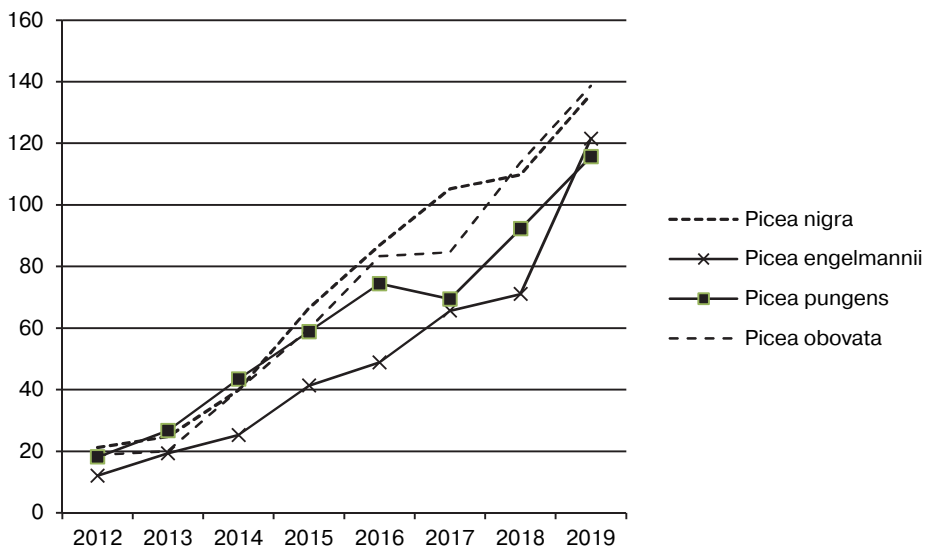
Species	Limits											
	Diameter, cm						Height, cm					
	min	Quantity, %	Average	Quantity, %	max	Quantity, %	min	Quantity, %	average	Quantity, %	max	Quantity, %
Open root seedlings												
<i>Pinus sylvestris</i>	0.7	48.6	3.0	50.9	6.0	0.6	90	46.9	215	52.6	450	0.6
<i>Abies sibirica</i>	0.5	52.8	1.9	46.3	3.6	0.9	20	58.3	82	40.7	235	0.9
<i>Picea obovata</i>	0.4	47.2	1.8	52.5	5.1	0.3	70	56.3	155	43.4	275	0.3
<i>Larix sibirica</i>	0.4	53.5	2.3	45.0	5.1	1.5	67	48.0	240	51.5	430	0.5
<i>Quercus robur</i>	0.3	60.3	2.7	39.4	7.0	0.3	60	55.2	280	5.1	580	39.7
Closed root seedlings												
<i>Picea nigra</i>	0.6	39.9	2.0	59.5	3.6	0.7	30	44.1	140	55.3	240	0.7
<i>Picea engelmannii</i>	0.7	26.5	2.0	73.1	4.0	0.4	25	50.4	120	48.7	230	0.9
<i>Picea pungens</i>	0.3	51.8	2.0	48.0	4.6	0.2	9.5	48.4	115	51.4	225	0.2
<i>Picea obovata</i>	0.4	37.7	0.9	60.4	2.5	1.9	52	51.7	140	47.4	240	0.9

In coniferous open root seedlings, the minimum and average height were found most often, plants with a maximum height — from 0.3 to 0.9%. Only in Common oak trees with a maximum height (up to 580 cm) were found in 39.7% of the total number of measured trees.

In all coniferous introducers with closed root system, height of plants refers to the minimum and average indicators, number of plants with maximum height is 0.2...0.9%.



**Fig. 1.** Dynamics of height (cm) of introduced species (open root seedlings)



**Fig. 2.** Dynamics of height (cm) of introduced species (closed root seedlings)

Introducers are observed from their planting. Figures 1 and 2 clearly show the growth dynamics in height of all the studied tree species. Starting from the second year of life, open root seedlings of Common oak exceeded all other seedlings in height. Native Ordinary pine ranked the second place in growth. Siberian larch, significantly lagging in growth from Ordinary pine, has so far caught up with it in height, which has increased by 35%. The same sharp jump was observed in the period 2014—2015, then height of Siberian larch increased by 43.2% and by 56% in Common oak. The height of Siberian

spruce varied according to the research years within 21.5...26.7%, in 2019 its height increased by 33.5%. This is primarily due to the weather conditions in 2019, when there were many rainy days with high air temperatures. In addition, the plants successfully survived post-planting stress and local acclimatization.

Two Spruce species — black spruce and Siberian spruce — grew almost identically, Engelmann and Spiny spruce slightly lagged behind the above species in height. Moreover, Engelmann spruce up to this year lagged behind other species, and now it is equal in height to them.

### **Conclusion**

According to the results of observations of survival, taxation indicators and state of artificial plantations, it was revealed that for the soil and climatic conditions of the research region — green zone of Nur-Sultan city, the most introduced species were the Black and Siberian spruce species. Common oak was also characterized by good growth and vitality, although in the first years after planting it underwent significant damage by late spring frosts and rodents. Siberian and Balsam firs were characterized by weak growth, low survival rate and vitality. Siberian larch, despite the fact that most plants died in the first years after planting, has now adapted to soil and climatic conditions and grows well enough in satisfactory condition. The survival of Siberian spruce, planted with one-year-old seedlings with closed root and three-year-old seedlings with open root, at 8 years of age was 62.6 and 64.9%, respectively. Although the growth and survival of spruce trees planted with different types of planting material varied minimally, it is better to plant crops with older seedlings (3—4 years old), since the cultivation of annual closed root seedlings requires prolonged manual care with large financial and labor investments. Therefore, Siberian spruce, black spruce (3—4-year-old seedlings) and Common oak (1—2-year-old seedlings) can be recommended to create artificial plantations in green zone of Nur-Sultan. When cultivating them, it is necessary to carry out thorough agro-technical cares and protection from rodents.

### **Введение**

Пригородные леса в виде зеленых зон вокруг городов и других населенных пунктов несут неоспоримую пользу — снижают влияние неблагоприятных погодных и экологических факторов, улучшают эстетическую обстановку, используются в качестве рекреации для отдыха населения и выполняют множество других функций [1—3]. Поэтому повсеместно уделяется большое внимание созданию, сохранению и реконструкции пригородных лесов [4—6]. Природно-климатические условия города Нур-Султан (Казахстан) являются неблагоприятными для произрастания древесных и кустарниковых пород из-за низкой плодородности почвы, резко-континентального климата и других факторов [7, 8]. По этим причинам требуются большие трудовые и финансовые затраты по созданию, содержанию и сохранению искусственных насаждений пригородной зоны, а из-за засоленности почв необходимо включение в ассортимент солеустойчивых растений [9]. Казах-

ский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации совместно с ТОО «Астана орманы» участвует в закладке и мониторинге научно-производственных опытов в искусственных насаждениях зеленого пояса [10, 11].

Цель исследований — определение наиболее приспособленных к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям в зеленом поясе столицы Казахстана древесных интродуцированных пород. С помощью мониторинга роста и состояния искусственных насаждений решали задачу выбора ассортимента устойчивых хвойных интродуцентов.

### **Материалы и методы**

Объектами исследований являлись лесные культуры хвойных интродуцентов 2011 г. посадки. Хвойные интродуценты были получены из питомников России в виде одно- и трехлетних сеянцев с открытой (ОКС) и закрытой (ЗКС) корневой системой. Следует отметить, что ель сибирская была посажена с ЗКС в однолетнем возрасте, а сеянцы с ОКС имели возраст 3—4 года. Кроме интродуцентов, были высажены сеянцы ОКС аборигенной для условий г. Нур-Султана породы — сосны обыкновенной.

Мониторинг проводился на постоянных пробных площадях, заложенных в наиболее репрезентативных местах лесных культур. На каждой пробе было не менее 200 деревьев, за которыми вели сплошные наблюдения. Измерялись количественные признаки: высота деревьев определялась мерной рейкой с точностью до 1 см, диаметр ствола — штангенциркулем с точностью до 0,1 см. У интродуцированных культур, не достигших высоты до 2 м включительно, диаметр стволика измерялся у основания корневой шейки, а у деревьев выше 2 м — на высоте 1,3 м [12, 13].

Визуально определялось плодоношение и состояние деревьев по 5-балльной системе, высший балл присваивался деревьям с наибольшим плодоношением и лучшим состоянием. Сохранность культур вычислялась как отношение числа живых к числу погибших деревьев, причем 50% сомнительных деревьев относилось к погибшим, 50% — к живым.

### **Результаты исследований и обсуждения**

В 2019 г. средняя сохранность хвойных интродуцентов, посаженных однолетними сеянцами с ЗКС, изменялась от 19,6 до 62,6%. У ели Энгельмана имелось большое число сомнительных деревьев, что говорит о нестабильности состояния растений. Наибольшей сохранностью отличалась ель сибирская (62,6%), причем сомнительных деревьев наблюдалось только 0,3%, остальные растения имели хорошее состояние (4,2 балла). Пихта бальзамическая в текущем году выпала полностью, в 2018 г. ее сохранность составляла 8,8%. Следует отметить слабый рост и большой отпад пихты бальзамической сразу после посадки.

Среди хвойных интродуцентов с ОКС посадки лидирует ель сибирская, сохранность которой в текущем году продолжает оставаться на высоком уровне (64,9%). Наименьший показатель по сохранности (16,5%) выявлен у пихты сибирской. При обследовании отмечено, что она сильно подвержена воздействию сол-

нечной радиации (ожег хвои), в отдельных случаях доводящей до гибели растения. Интродуцент для зеленого пояса лиственница сибирская и аборигенная порода сосна обыкновенная (ОКС) имели невысокую сохранность — 28,1 и 23,4% соответственно.

Сохранность дуба черешчатого (ОКС) на 1% превысила сохранность 2018 г. и составляла 88,4% в 2019 г., что связано с порослевым возобновлением саженцев. Большое число сомнительных деревьев дуба черешчатого связано с повреждениями стволов грызунами и влиянием на состояние деревьев поздне-весенних заморозков.

При сравнении средней сохранности саженцев ЗКС и ОКС видно, что изучаемый показатель был больше у саженцев ОКС (44,3%), чем у саженцев ЗКС (35,8%) (табл. 1).

Таблица 1

**Средняя сохранность лесных культур в зеленом поясе г. Нур-Султана**

Порода	Число растений, шт.				Сохранность, %
	Всего	Живые	Погибшие	Сомнительные	
Сеянцы ЗКС					
Пихта бальзамическая	224	0	0	0	0
Ель Энгельмана	2 126	1 126	961	39	53,8
Ель колючая	5 367	2 294	3 045	28	43,0
Ель черная	1 784	350	1 434	0	19,6
Ель сибирская	989	618	369	2	62,6
Среднее					35,8
Сеянцы ОКС					
Ель сибирская	8 713	5 647	2 788	11	64,9
Сосна обыкновенная	5 657	1 302	4 312	43	23,4
Дуб черешчатый	4 451	3 915	375	43	88,4
Пихта сибирская	2 195	279	1 916	0	16,5
Лиственница сибирская	2 741	769	1 967	5	28,1
Среднее					44,3

Таблица 2

**Рост лесных культур в зеленом поясе г. Нур-Султан**

Порода	Диаметр, см		Высота, см		Прирост, см	
	$X \pm m$	$V, \%$	$X \pm m$	$V, \%$	$X \pm m$	$V, \%$
Сеянцы ОКС						
Сосна обыкновенная*	$3,2 \pm 0,1$	41,3	$246,8 \pm 7,0$	34,6	$39,1 \pm 1,1$	35,5
Пихта сибирская	$1,9 \pm 0,08$	43,0	$82,4 \pm 3,8$	47,4	$15,4 \pm 1,1$	73,0
Ель сибирская	$1,8 \pm 0,04$	40,5	$154,8 \pm 2,0$	24,6	$31,2 \pm 0,7$	40,6
Лиственница сибирская*	$2,3 \pm 0,07$	42,6	$243,8 \pm 4,7$	27,3	$47,7 \pm 1,0$	29,9
Дуб черешчатый*	$2,6 \pm 0,06$	44,1	$278,6 \pm 6,2$	38,4	$46,7 \pm 1,3$	38,0
Сеянцы ЗКС						
Ель черная	$2,0 \pm 0,05$	34,2	$138,3 \pm 3,5$	31,6	$28,8 \pm 1,3$	53,9
Ель Энгельмана	$2,3 \pm 0,04$	29,4	$121,5 \pm 2,6$	32,9	$26,0 \pm 0,6$	37,3
Ель колючая	$1,9 \pm 0,04$	39,9	$115,6 \pm 1,9$	36,0	$24,3 \pm 0,6$	55,2
Ель сибирская	$1,0 \pm 0,06$	43,4	$138,7 \pm 4,8$	35,0	$33,0 \pm 1,2$	37,5

Примечание: \* Диаметр измерялся на высоте 1,3 м.

Хотя сохранность ели черной была невысокой, ее состояние было в целом удовлетворительным (3,9 балла). Кроме того, у данной породы имелось плодоношение. Число шишек на 1 растении колебалось от 3 до 45 шт. Размеры шишек составили в среднем 2,0...2,5 см по длине и 1,3...1,5 см по диаметру. Деревья с имеющимся плодоношением имели очень декоративный вид из-за красно-фиолетового окраса и красивой формы шишек. Впервые плодоношение было отмечено в 2018 г., на 7 году жизни.

Рассмотрим данные по высоте, приросту и диаметру культур интродуцентов, высаженных с ОКС (табл. 2).

Среди хвойных интродуцентов ОКС в 2019 г. наибольшим диаметром и высотой обладала лиственница сибирская — 2,3 и 243,8 см соответственно, деревья имели хорошее состояние. Рост всех хвойных интродуцентов и сосны обыкновенной изменялся на очень высоком уровне по диаметру (коэффициент вариации  $V$  составил 40,5...43,0%) и на повышенном и очень высоком — по высоте ( $V = 24,6...47,4$ ). Больше всего различались деревья по высоте в культурах пихты сибирской. Высота дуба черешчатого, как более быстрорастущей породы, составила в среднем 278,6 см, а средний диаметр — 2,6 см, но в данных культурах также наблюдалась сильная дифференциация деревьев по росту. Сосна обыкновенная, как более адаптированная к местным условиям произрастания порода, имела хорошие показатели роста как по высоте, так и по диаметру.

Среди культур с посадкой ЗКС по высоте преобладали ель черная и ель сибирская, высота которых практически не различалась. Ель Энгельмана при небольшой высоте (121,5 см) имела наибольший диаметр (2,3 см), что связано с биологическими особенностями вида. Ель колючая отставала по высоте от других видов ели, но по диаметру незначительно уступала ели черной и ели Энгельмана.

Можно сравнить ель сибирскую, посаженную с закрытой и открытой корневой системой. Ель сибирская, посаженная с ЗКС, отстает на 10,4% по высоте и на 44,4% по диаметру от ели сибирской ОКС. Но на основании полученных данных нельзя сделать вывод о приоритетности посадки семян с ОКС, так как биологический возраст саженцев в культурах различается на 2 года.

Поскольку показатели роста значительно различаются, проведен анализ минимальных, максимальных и средних значений (табл. 3).

У хвойных саженцев ОКС минимальная и средняя высота встречаются наиболее часто, растений с максимальной высотой немного — от 0,3 до 0,9%. Только у дуба черешчатого деревья с максимальной высотой (до 580 см) встречаются в 39,7% случаях от общего числа измеренных деревьев.

У всех хвойных интродуцентов ЗКС высота основной массы растений относится к минимальным и средним показателям, растений с максимальной высотой имеется 0,2...0,9%.

За интродуцентами ведутся наблюдения с момента их посадки, на рис. 1 и 2 наглядно видна динамика роста в высоту всех изучаемых древесных пород. Саженцы ОКС дуба черешчатого, начиная со второго года жизни, превышали все остальные саженцы по высоте.

Таблица 3

**Пределы значений роста интродуцированных лесных культур**

Порода	Пределы значений											
	Диаметр, см						Высота, см					
	min	Количество, %	Среднее	Количество, %	max	Количество, %	min	Количество, %	Среднее	Количество, %	max	Количество, %
Сеянцы ОКС												
Сосна обыкновенная	0,7	48,6	3,0	50,9	6,0	0,6	90	46,9	215	52,6	450	0,6
Пихта сибирская	0,5	52,8	1,9	46,3	3,6	0,9	20	58,3	82	40,7	235	0,9
Ель сибирская	0,4	47,2	1,8	52,5	5,1	0,3	70	56,3	155	43,4	275	0,3
Лиственница сибирская	0,4	53,5	2,3	45,0	5,1	1,5	67	48,0	240	51,5	430	0,5
Дуб черешчатый	0,3	60,3	2,7	39,4	7,0	0,3	60	55,2	280	5,1	580	39,7
Сеянцы ЗКС												
Ель черная	0,6	39,9	2,0	59,5	3,6	0,7	30	44,1	140	55,3	240	0,7
Ель Энгельмана	0,7	26,5	2,0	73,1	4,0	0,4	25	50,4	120	48,7	230	0,9
Ель колючая	0,3	51,8	2,0	48,0	4,6	0,2	9,5	48,4	115	51,4	225	0,2
Ель сибирская	0,4	37,7	0,9	60,4	2,5	1,9	52	51,7	140	47,4	240	0,9

На втором месте по темпам роста была аборигенная порода — сосна обыкновенная. Лиственница сибирская, значительно отставая в росте от сосны обыкновенной, к настоящему времени догнала ее по высоте, которая повысилась на 35%. Такой же резкий скачок наблюдался в период 2014—2015 гг., тогда высота лиственницы сибирской увеличилась на 43,2% и на 56% — у дуба черешчатого. Высота ели сибирской варьировала по годам наблюдений в пределах 21,5...26,7%, в 2019 г. ее высота увеличилась на 33,5%. Это связано, в первую очередь, с погодными условиями 2019 г., когда было много дождливых дней с высокой температурой воздуха. Кроме того, растения благополучно пережили послепосадочный стресс и местную акклиматизацию.

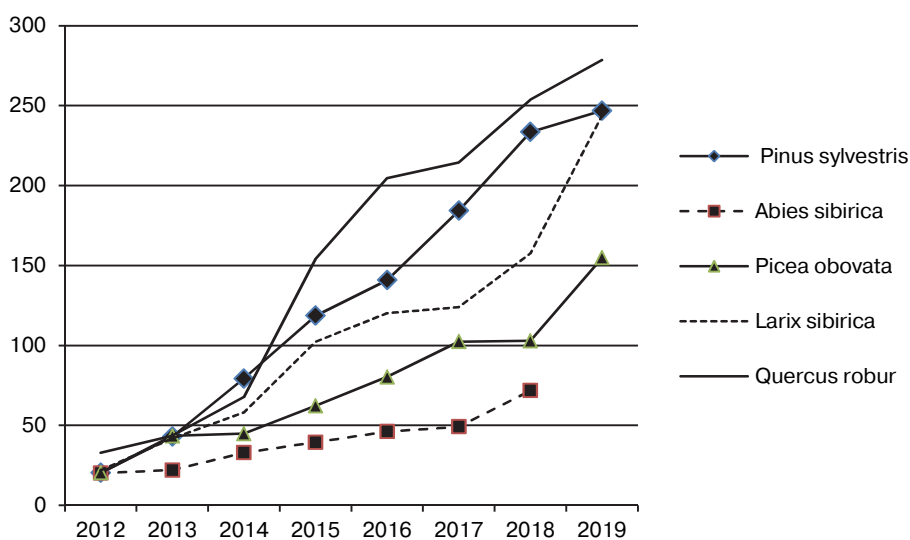


Рис. 1. Динамика высоты, см, интродуцированных культур (ОКС)



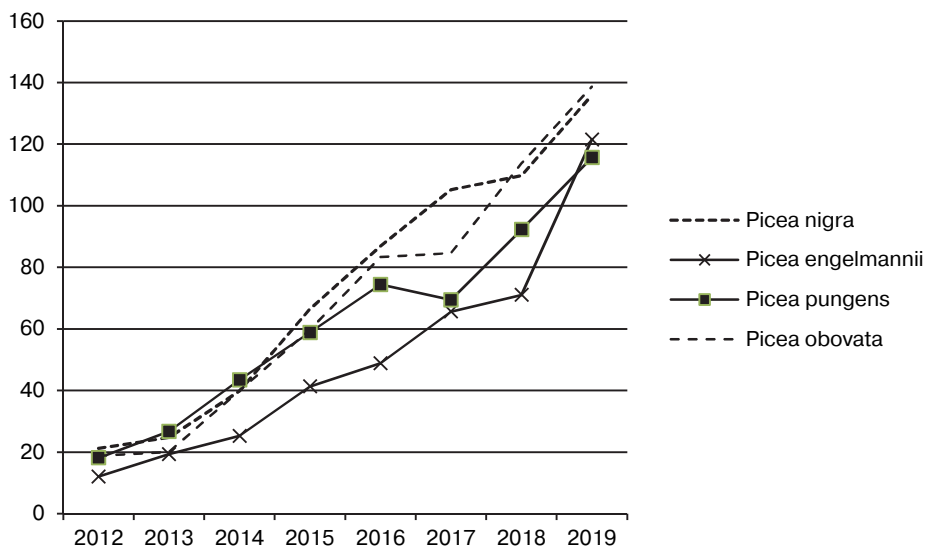


Рис. 2. Динамика высоты, см, интродуцированных культур (ЗКС)

Среди саженцев ЗКС рода Ель два вида — черная и сибирская — росли практически одинаково, ели Энгельмана и колючая незначительно отставали от вышеуказанных пород по высоте. Причем ель Энгельмана до нынешнего года отставала от других видов, а сейчас сравнялась с ними по высоте.

### Заключение

По результатам наблюдений за сохранностью, таксационными показателями и состоянием искусственных насаждений выявлено, что для почвенно-климатических условий региона исследований — зеленого пояса г. Нур-Султана наиболее приспособленными оказались интродуценты рода Ель — черная и сибирская. Также хорошим ростом и жизненным состоянием характеризовался дуб черешчатый, хотя в первые годы после посадки он подвергался значительным повреждениям поздне-весенними заморозками и объеданию грызунами. Слабым ростом, низкой приживаемостью и сохранностью отличались пихты сибирская и бальзамическая. Лиственница сибирская, несмотря на то, что большинство растений погибло в первые годы после посадки, в настоящее время приспособилась к почвенно-климатическим условиям и достаточно хорошо растет и имеет удовлетворительное состояние. Сохранность ели сибирской, посаженной однолетними сеянцами с закрытой и трехлетними сеянцами с ОКС, в 8-летнем возрасте составила соответственно 62,6 и 64,9%. Хотя рост и сохранность елей, высаженных различным по виду посадочным материалом, варьировались минимально, все же лучше высаживать культуры сеянцами более старшего возраста (3—4-летним), так как выращивание однолетних саженцев ЗКС сопровождается продолжительным ручным уходом, требующим больших финансовых и трудовых вложений. Следовательно, для создания искусственных насаждений в зеленом поясе г. Нур-Султана можно рекомендовать ель сибирскую, ель черную (3—4-летними сеянцами) и дуб черешчатый (1—2-летними сеянцами). При их выращивании необходимо проводить тщательные агротехнические уходы и защиту от грызунов.

## References

1. Lukarevskaya TV. *Rasteniya v usloviyakh goroda* [Plants in city]. Moscow: Lesnaya Nov' Publ.; 2005. (In Russ).
2. Baturina RR. Filtration ability of urban plantations. In: *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rastenii: materialy VII Mezhdunar. nauch. konf.* [Fruit growing, seed growing, introduction of wood plants: materials of the VII Intern. scientific conf.]. Krasnoyarsk: SibGTU Publ.; 2004. p. 21—24. (In Russ).
3. Chernyshenko OV. *Poglotitel'naya sposobnost' i gazoustoichivost' drevesnykh rastenii v usloviyakh goroda* [Absorption capacity and gas resistance of woody plants in a city] [Dissertation] Moscow; 2001. (In Russ).
4. Ferrari B, Corona P, Mancini LD, Salvati R, Barbati A. Taking the pulse of forest plantations success in peri-urban environments through continuous inventory. *New Forests*. 2017; 48(4):527—545. doi: 10.1007/s11056-017-9580-x
5. Salvati L, Ferrara C, Mavrakis A, Colantoni A. Toward forest “sprawl”: monitoring and planning a changing landscape for urban sustainability. *Journal of Forestry Research*. 2016; 27(1):175—184. doi: 10.1007/s11676-015-0144-7
6. Pausas JG, Bladé C, Valdecantos A. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice — a review. *Plant Ecology*. 2004; 171(1—2):209—220. doi: 10.1023/B:VEGE.0000029381.63
7. Danchenko MA, Kabanova SA. *Ekologo-ekonomicheskie osnovy ustoichivogo lesopol'zovaniya* [Ecological and economic bases of sustainable forest management]. Almaty: ALOS Publ.; 2011. (In Russ).
8. Azbaev BO, Rakhimzhanov AN, Razhanov IR, Suyundikov ZO. The history of afforestation in the sanitary protection zone of Astana. In: *Lesovosstanovlenie v Povolzh'e: sostoyanie i puti sovershenstvovaniya* [Reforestation in the Volga region: state and ways of improvement]. Yoshkar-Ola: PGU Publ.; 2013. p. 14—18. (In Russ).
9. Suyundikov ZO. Technology of creation and maintenance of forest plantations of Astana green zone. In: *Tekhnologii sozdaniya zashchitnykh nasazhdenii v prigorodnoi zone g. Astany* [Technologies of creation of protective plantings in the suburban area of Astana]. Astana; 2012. p. 3—5. (In Russ).
10. Mukanov BM. Scientific support for the creation of a green zone of Astana. In: *Tekhnologii sozdaniya zashchitnykh nasazhdenii v prigorodnoi zone g. Astany* [Technologies of creation of protective plantings in the suburban area of Astana]. Astana; 2012. p. 21—23. (In Russ).
11. Kabanova SA, Nysanbaev EN, Danchenko MA, Kabanov AN. The outcomes of the pilot projects on tree replantation into the spaces between strips and introduction coniferous introducents in the green zone of Astana. *Advances in current natural sciences*. 2016; (9):56—61. (In Russ).
12. Ogievsky VV, Khairov AA. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Examination and study of forest crops]. Leningrad; 1967. (In Russ).
13. Danchenko AM. *Obsledovanie i issledovanie lesnykh kul'tur* [Examination and study of forest crops]. Tomsk: TGU Publ.; 2008. (In Russ).

## Библиографический список

1. Лукаревская Т.В. Растения в условиях города. М.: Лесная новь, 2005. Т. 1. 145 с.
2. Батурина Р.Р. Фильтрационная способность городских насаждений // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы VII Междунар. науч. конф. Красноярск: СибГТУ, 2004. С. 21—24.

3. Чернышенко О.В. Поглотительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МГУЛ, 2001. 200 с.
4. Ferrari B., Corona P., Mancini L.D., Salvati R., Barbati A. Taking the pulse of forest plantations success in peri-urban environments through continuous inventory // *New Forests*. 2017. Vol. 48. № 4. P. 527—545. doi: 10.1007/s11056-017-9580-x
5. Salvati L., Ferrara C., Mavrakis A. Toward forest “sprawl”: monitoring and planning a changing landscape for urban sustainability // *Journal of Forestry Research*. 2016. Vol. 27. № 1. P. 175—184. doi: 10.1007/s11676-015-0144-7
6. Pausas J.G., Bladé C., Valdecantos A., Colantoni A. Pines and oaks in the restoration of Mediterranean landscapes of Spain: New perspectives for an old practice — a review // *Plant Ecology*. 2004. Vol. 171. № 1—2. P. 209—220. doi: 10.1023/B:VEGE.0000029381.63
7. Данченко М.А., Кabanова С.А. Эколого-экономические основы устойчивого лесопользования. Алматы: АЛОС, 2011. 122 с.
8. Азбаев Б.О., Рахимжанов А.Н., Ражанов И.Р., Суюндиков Ж.О. История лесоразведения в санитарно-защитной зоне г. Астаны // *Лесовосстановление в Поволжье: состояние и пути совершенствования*. Йошкар-Ола, 2013. С. 14—18.
9. Суюндиков Ж.О. Технология создания и содержания лесонасаждений зеленой зоны г. Астаны // *Технологии создания защитных насаждений в пригородной зоне г. Астаны*. Астана, 2012. С. 3—5.
10. Муқанов Б.М. Научное обеспечение создания зеленой зоны г. Астаны // *Технологии создания защитных насаждений в пригородной зоне г. Астаны*. Астана, 2012. С. 21—23.
11. Кabanова С.А., Нысанбаев Е.Н., Данченко М.А., Кabanов А.Н. Итоги опытно-производственных работ по пересадке деревьев в межкулисные пространства и введению хвойных интродуцентов в зеленой зоне г. Астаны // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 9. С. 56—61.
12. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л., 1967. 50 с.
13. Данченко А.М. Обследование и исследование лесных культур. Томск: ТГУ, 2008. 20 с.

#### **About the authors:**

*Kabanova Svetlana Anatolyevna* — Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Forest Reproduction and Afforestation, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirova st., Shchuchinsk, Akmola Region, 021704, Kazakhstan, e-mail: Kabanova.05@mail.ru

*Kabanov Andrey Nikolaevich* — Master student, Researcher, Department of Forest Reproduction and Afforestation, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirova st., Shchuchinsk, Akmola Region, 021704, Kazakhstan, e-mail: 7058613132@mail.ru

*Khasenov Ardak Aydarovich* — chief agronomist, Astana ormany company, 1, east highway of Karkaraly 3600 m, Lesnoy kordon village, Yesil district, Astana, 010000, Kazakhstan, e-mail: astana\_ormani@mail.ru

*Danchenko Matvey Anatolyevich* — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Forestry and Landscape Construction, Biological Institute, Tomsk State University, house 36; Lenina st., Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: mtd2005@sibmail.com

#### **Об авторах:**

*Кabanова Светлана Анатольевна* — кандидат биологических наук, заведующий отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Казахстан, 021704, Акмолинская обл., г. Щучинск, ул. Кирова, 58; e-mail: Kabanova.05@mail.ru

*Кабанов Андрей Николаевич* — магистр, научный сотрудник отдела воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Казахстан, 021704, Акмолинская обл., г. Щучинск, ул. Кирова, 58; e-mail: 7058613132@mail.ru

*Хасенов Ардак Айдарович* — главный агроном ТОО «Астана орманы», Казахстан, 010000, Астана, район Есиль, д. Лесной кордон, восточнее шоссе Қарқаралы 3600 м, д. 1; e-mail: astana\_ormani@mail.ru

*Данченко Матвей Анатольевич* — кандидат географических наук, доцент кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства, Биологический институт, Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск. ул. Ленина, д. 36; e-mail: mtd2005@sibmail.com



## Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-453-465  
УДК 631.51:631.348

Научная статья / Research article

### Improving efficiency of chemical processing in strip-tilled row crops

Marina V. Meznikova<sup>1\*</sup>, Ivan B. Borisenko<sup>1</sup>,  
Ekaterina I. Ulybina<sup>2</sup>, Olga V. Boyarkina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Volgograd State Agricultural University, *Volgograd, Russia*

<sup>2</sup>Frolovo Industrial and Economic College, *Volgograd region, Russia*

<sup>3</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),  
*Moscow, Russia*

\*Correspondent author: [marina\\_roxette@mail.ru](mailto:marina_roxette@mail.ru)

**Abstract.** When growing crop products, it is important to use an integrated approach at the stages of planning technological operations and developing technical means for their implementation. In this case, the best result is achieved when coordinating operations on mechanical and chemical tillage, which provides for the protection and nutrition of plants. Along with this, it is important to consider following the applied technology to environmental principles, since agriculture directly affects the environment of our planet. Resource-saving technologies help preserve nature for future generations, restore natural fertility and take care of economic well-being. For row crops, the use of Strip-till technology is recommended. This requires 20...30% of all costs to direct to chemical treatment. Obviously, a decrease in the chemical effect on the soil during the transition to strip technology is necessary, and the introduced chemical should be redirected strictly to the target.

A technical solution for the adaptation of serial sprayers is proposed, which consists of the use of strip spraying with the ability to accurately add and redistribute the working solution to the objects of influence, considering stage of plant development. This allows to reduce hectare application rates and stress of cultivated plants, and to save money on chemical processing. In addition, it also helps to solve environmental problems by reducing the chemical load on the soil. The proposed approach and technical solution make it possible to supplement the complex of machines for mechanical tillage in the framework of strip technology and reduce the chemical load on the biosphere.

**Key words:** strip technology, chemical tillage, Strip-till, resource saving, spray cone

#### CONFLICTS OF INTEREST

The authors declared no potential conflicts of interest.

© Мезникова М.В., Борисенко И.Б., Улыбина Е.И., Бояркина О.В., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the branch of French holding company EXEL Industries with the location of assembly production in the Volgograd Region EMC for funding laboratory research.

### Article history:

Received: 2 October 2019. Accepted: 28 October 2019

### For citation:

Meznikova MV, Borisenko IB, Ulybina EI, Boyarkina OV. Improving efficiency of chemical processing in strip-tilled row crops. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4):453—465. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-453-465

## Повышение эффективности химической обработки пропашных культур в рамках полосовой технологии

М.В. Мезникова<sup>1\*</sup>, И.Б. Борисенко<sup>1</sup>,  
Е.И. Улыбина<sup>2</sup>, О.В. Бояркина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Волгоградский государственный аграрный университет,  
г. Волгоград, Российская Федерация

<sup>2</sup>Фроловский промышленно-экономический техникум,  
Фролово, Волгоградская область, Российская Федерация

<sup>3</sup>Российский университет дружбы народов,  
г. Москва, Российская Федерация

\*marina\_roxette@mail.ru

**Аннотация.** Предложено техническое решение по адаптации серийных опрыскивателей, заключающееся в применении полосового опрыскивания с возможностью точного внесения и перераспределения рабочего раствора по объектам воздействия с учетом фазы развития культуры. Это позволяет снижать гектарные нормы внесения и стрессы культурных растений, экономит денежные затраты на химическую обработку, способствует решению экологических проблем посредством снижения химической нагрузки на почву. Предлагаемый подход и техническое решение позволяют дополнить комплекс машин для механической обработки почвы в рамках полосовой технологии и снизить химическую нагрузку на биосферу.

**Ключевые слова:** полосовая технология, химическая обработка, Strip-till, ресурсосбережение, конус распыла

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Источник финансирования материалов для проведения лабораторных исследований — филиал французской холдинговой компании EXEL Industries с размещением сборочного производства на территории Волгоградской области ООО «ЕМС».

### История статьи:

Поступила в редакцию: 2 октября 2019 г. Принята к публикации: 28 октября 2019 г.

### Для цитирования:

Мезникова М.В., Борисенко И.Б., Улыбина Е.И., Бояркина О.В. Повышение эффективности химической обработки пропашных культур в рамках полосовой технологии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 453—465. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-453-465

## Introduction

At the present stage of agriculture development, chemical treatment of plants is included in any technology. To ensure the high efficiency of the use of chemicals for plant protection and nutrition in combination with minimizing environmental damage, modern manufacturers select and implement new technologies based on resource saving, as well as modern equipment for performing technological operations [1, 2]. One of these technologies, which allows to maintain the sustainable development of agriculture and to form an ecological culture, is the resource-saving Strip-till technology, which is especially suitable for row crops [3]. Recently, scientific interest has been increasing in assessing the effectiveness of this technology and its technical means [4, 5]. This technology provides tillage strictly in strips for the subsequent creation of favorable conditions for growth and development of crops. In the interval between the treated strips, such conditions are not cultivated; so weeds, being in the worst conditions, begin to lag behind in development, and then completely die, oppressed by cultivated plants [6]. This approach to the operation of mechanical tillage helps in solving environmental problems; it reduces the damaging effect on the soil, helps to restore its fertility, reduces water and wind erosion, and at the same time it has a beneficial effect on the climate of our planet [7, 8]. Purpose of the study was to improve efficiency of technological process of chemical treatment of row crops due to redistribution of the operating solution in strips and to reduce chemical load on soil.

## Materials and methods

The most effective plant protection operations are carried out by liquid solutions. Spraying is the main method of introducing liquid solutions of CPA (crop protection agents) and UAN (aqueous solution of ammonium nitrate and urea). The advantage of using liquid chemical solutions is the rational impact on leaf and root systems of plant [1, 9]. Having analyzed the structure of application of spraying technological processes using the example of a sunflower row crop, we can conclude that it is recommended that the soil herbicide and means of protection against diseases, weeds and pests be applied by continuous spraying method, leaf dressing and desiccation operations — directly on the object of exposure. Therefore, theoretical rationale of the technological process of chemical treatment of plants, depending on plant growth stage and species, becomes central to this study [10, 11]. Sprayers for continuous application of chemicals, common in traditional crop cultivation technology, do not correspond to the basics of strip technology. Undoubtedly, they have a number of advantages: relative simplicity of design, high maneuverability, large operation width, high productivity, but the following disadvantages are noted: significant drift of the sprayed liquid by the wind, high uneven distribution of the chemical substance along the operation width, significant influence of meteorological conditions on the operation width and undesirable drift of the sprayed liquid beyond the boundaries of the treated area.

The efficiency of spraying process is evaluated by area and uniformity of coating with active chemical substance. In addition, optimal terms (relevance of adhering to timing of making is justified by sensitivity of processed object in accordance with

phase of its development) and quality of coating of the processed object have a significant impact. Therefore, to increase efficiency of chemical treatment, it is necessary to improve not only the methods of introducing operation solution, but also the design features of spray system [10, 12].

Serial models of boom sprayers perform technological process of continuous spraying (Fig. 1). These types of sprayers are not suitable for the Strip-till technology, since the main emphasis in the technology is soil and plant treatment in strips [11, 13]. Agricultural producers are forced to use boom sprayers violating the technology due to the fact that there are no machines for chemical and fertilizer application that process in strips.

The task is to improve well-known technological process and design of the sprayer with possibility of spraying it on growth bands of crops or rows between weeds. When processing crops, it is important to redirect working solutions to the target objects considering current pathogenic situation in a specific field or culture and development phase (Fig. 2).

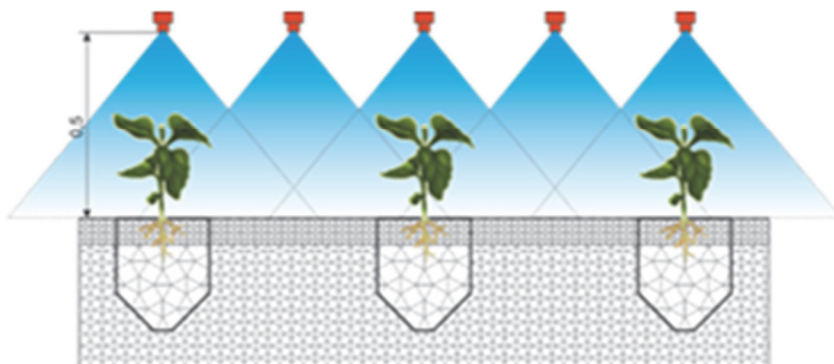


Fig. 1. Technological process of continuous spraying

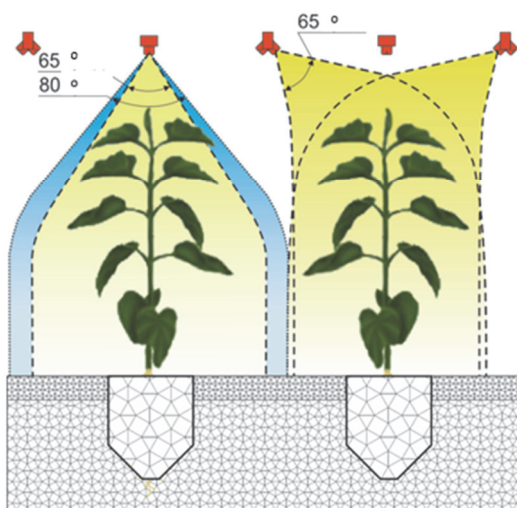


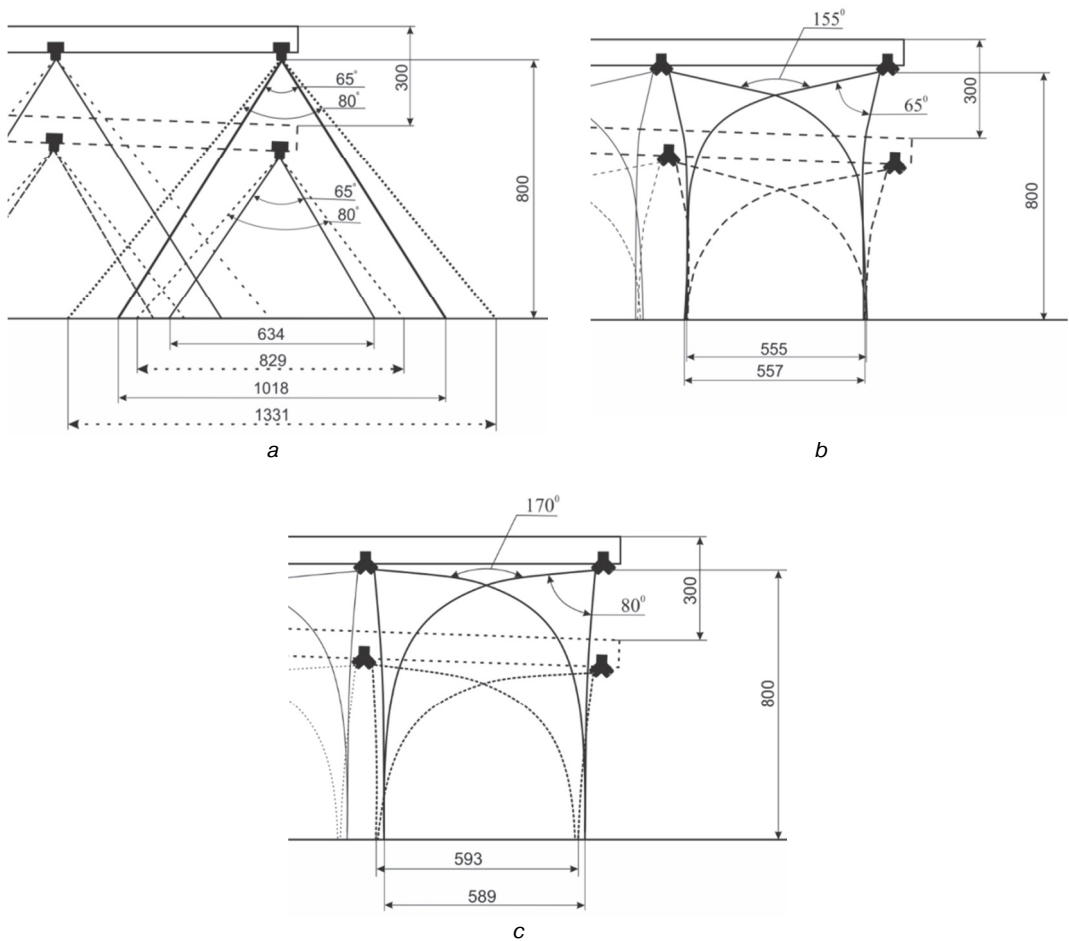
Fig. 2. Band spraying process



The technical solution is retrofitting of a serial boom sprayer with two lines with possibility of spraying nozzles in strips. Moreover, after improving design, the sprayer becomes universal for use with various technologies. When continuous processing is required, both lines are switched on. In the case of strip cultivation of row crops, the main line is switched on, which allows redistributing the working solution with the formation of a new stream that processes the object of influence strictly in strips.

### Results and discussion

The choice of nozzles with a large spray angle makes it possible to reduce distance from tops of plant to nebulizers. However, this causes an increase in unevenness of width of the treated strip with vertical oscillations of the sprayer boom. When nozzles are placed with a spray angle of  $80^\circ$  above the soil surface at a distance of 800 mm, the treated strip will take sizes from 1331 to 829 mm depending on the fluctuations of the boom, up to 300 mm (Fig. 3, a).



**Fig. 3.** Changing width of sprayer treated strip:  
 a — for a serial sprayer; b — for an advanced sprayer (a spray cone angle of  $65^\circ$ ); c — for an advanced sprayer (a spray cone angle of  $80^\circ$ )

When installing nozzles with a spray angle of 65°, a change in the width of the treated strip from 1018 to 634 mm is observed. This means that dimensions of the treated strip are subject to significant fluctuations — up to 38%. When choosing a nozzle with a spray angle of 80°, covering of the upper part of the plant improves, and the distance between tops of the plant and the boom can be reduced, but irregularity in the chemical application increases and leads to undesirable waste and harm to the environment. In this regard, technological process of introducing chemicals requires significant improvement in redistribution of operation solution within the band.

The application of the proposed technological approach makes it possible to accurately redistribute operation solution with active substance and reduce hectare norms while maintaining application rate for objects. A differentiated approach to introduction of chemicals in agriculture also makes it possible to reduce stressful effects on crops.

This side spray method converts streams from each nozzle when they merge into a new stream with more stable parameters. This means that the proposed method allows formation of operation solution flow with constant density practically eliminating the influence of boom vertical oscillations. The proposed technical solution makes it possible to quickly switch between spray gun housings, facilitating readjustment between continuous and strip spraying. The economic effect is achieved by redistributing the working solutions in strips, concentration of operation solution at the site of exposure and minimization of unproductive losses for solution density in rod vertical vibrations.

Monitoring of technological problem of strip spraying showed that when row crop cultivated area was about 900 thousand hectares in the Volgograd Region and prescribed standard annual load per sprayer was 360 ha/year, more than 2.5 thousand modernized sprayers could be claimed for chemical treatment of plants with the most efficient and rational methods in this region. The solution to this problem seems feasible for the assembly production located in the Volgograd region within the framework of a cooperation agreement between Volgograd State Agricultural University and French holding company EXEL Industries. Adapting sprayers for effective use in strip farming agricultural technologies began in 2018.

## Conclusions

The application of the strip chemical processing method allows to reduce chemical application rate per hectare without reducing norm and quality compared to continuous processing.

The proposed method of strip chemical treatment of soil and plants has good prospects for use in agriculture saving costs and solving environmental problems, and pre-equipped serial sprayers of rod type complement complex of machines for strip processing. Quick readjustment of serial sprayers allows to save time and money for new equipment.

According to theoretical calculations based on the data obtained in laboratory conditions, a decrease in consumption of operation solution will be 31.4% and 38.9%, when processing crops with a row spacing of 0.7 m and 0.9 m, respectively.

We recommend to choose slotted injection sprayers and sprayers with a hollow cone for strip herbicide application.

## Введение

На современном этапе развития производства сельхозпродукции химическая обработка растений входит в цикл любой технологии. Для обеспечения высокой эффективности применения химических средств для защиты и питания растения в сочетании с минимизацией вреда для окружающей среды современные производители выбирают и внедряют новые технологии, основанные на ресурсосбережении, а также современную технику для выполнения технологических операций [1, 2]. Одной из таких технологий, позволяющей сохранять устойчивое развитие сельского хозяйства и формировать экологическую культуру, является ресурсосберегающая технология Strip-till, которую особенно стоит применять для пропашных культур [3]. В последнее время к оценке эффективности данной технологии и ее техническим средствам возрастает научно обоснованный интерес [4, 5]. Данная технология обеспечивает обработку почвы строго по полосам для последующего создания благоприятных условий роста и развития культурных растений. В промежутке между обработанными полосами такие условия не культивируются, поэтому сорная растительность, оказавшись в худших условиях, начинает отставать в развитии, а потом и вовсе гибнет, угнетенная культурными растениями [6]. Данный подход к проведению операции механической обработки почвы помогает в решении экологических проблем, снижает ранящее воздействие на почву, способствует восстановлению ее плодородия, а вместе с тем снижает водную и ветровую эрозии, оказывает благоприятное воздействие на состояние климата нашей планеты [7, 8].

**Цель исследования.** Повышение эффективности технологического процесса химической обработки пропашных культур за счет перераспределения рабочего раствора по полосам, снижение химической нагрузки на почву.

## Материалы и методы

Наиболее эффективно операции по защите растений при выращивании сельхозкультур проводить жидкими растворами. Основным способом внесения жидких растворов СЗР и КАС — опрыскивание. Преимущество применения жидких химических растворов заключается в рациональном воздействии на листовую и корневую системы растения [1, 9]. Проведя анализ структуры применения технологических процессов опрыскивания на примере пропашной культуры подсолнечника, можно сделать вывод, что почвенный гербицид и средства защиты от болезней, сорняков и вредителей рекомендуется вносить сплошным методом опрыскивания, операции по листовой подкормке и десикации — непосредственно на сам объект воздействия. Поэтому теоретическое обоснование технологического процесса химической обработки растений в зависимости от фазы развития культурного растения и его вида приобретает центральное место в данном исследовании [10, 11]. Опрыскиватели для сплошного внесения препаратов, распространенные в традиционной технологии возделывания культур, не соответствуют основам полосовой технологии. Безусловно, они обладают рядом достоинств: относительной просто-

той конструкции, высокой маневренностью, большой шириной захвата, высокой производительностью, однако отмечены следующие недостатки: значительный снос распыляемой жидкости ветром, высокая неравномерность распределения химического вещества по ширине захвата, значительное влияние метеорологических условий на колебания ширины захвата и нежелательный снос распыляемой жидкости за границы обрабатываемого участка.

Эффективность процесса опрыскивания оценивается по площади и равномерности покрытия активным химическим веществом. Кроме того, значительное влияние оказывают оптимальные сроки проведения работ (актуальность соблюдения сроков внесения обосновывается чувствительностью обрабатываемого объекта в соответствии с фазой его развития) и качество покрытия обрабатываемого объекта. Поэтому для повышения эффективности химической обработки необходимо совершенствовать не только способы внесения рабочего раствора, но и конструктивные особенности системы распыла [10, 12].

Серийные модели штанговых опрыскивателей выполняют технологический процесс сплошного опрыскивания (рис. 1). Для технологии Strip-till данные виды опрыскивателей не подходят, так как основной акцент в технологии — обработка почвы, а значит и культурных растений, по полосам [11, 13]. Производители сельскохозяйственной продукции вынуждены использовать штанговые опрыскиватели в нарушение технологии ввиду того, что машин для химической защиты и питания растений, производящих обработку по полосам, не существует.

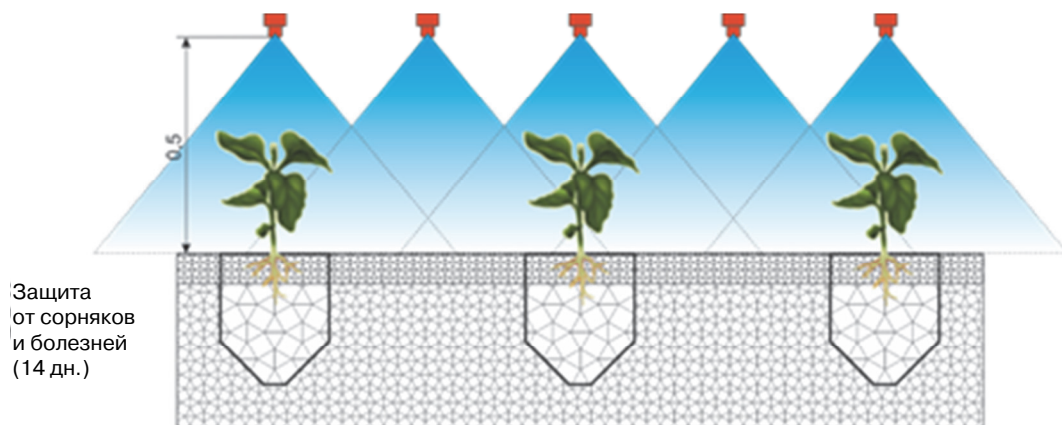
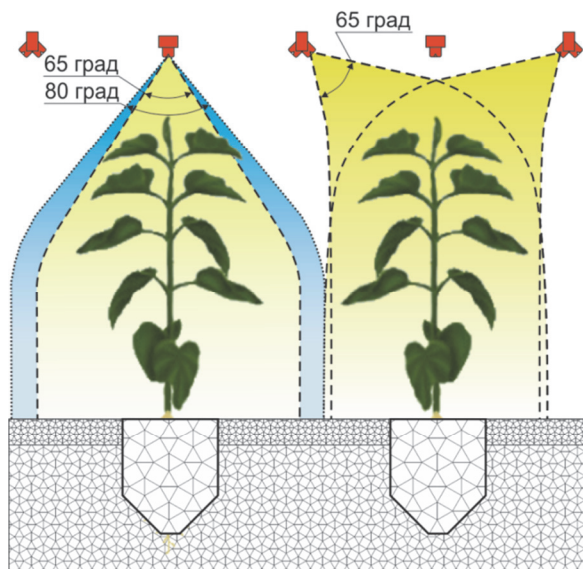


Рис. 1. Технологический процесс сплошного опрыскивания

Поставлена задача по усовершенствованию известного технологического процесса и конструкции опрыскивателя с наделением его возможностью опрыскивания по полосам роста культурных растений либо междурядий с сорной растительностью. При обработке посевов важно перенаправлять рабочие растворы с учетом имеющейся патогенной ситуации на конкретном поле и культуре с учетом фазы развития на целевые объекты (рис. 2).



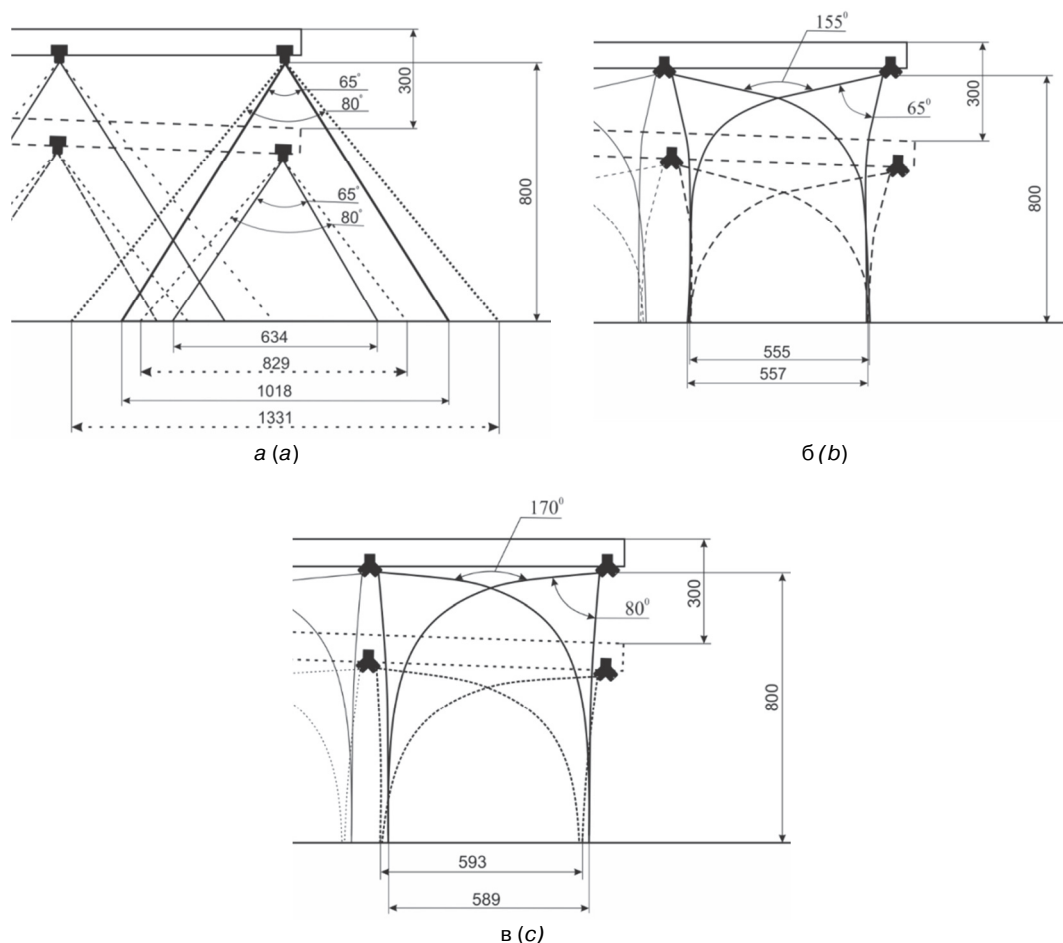
**Рис. 2.** Технологический процесс полосового опрыскивания

Техническим решением является дооборудование серийного штангового опрыскивателя двумя магистралями с возможностью распыления форсунками по полосам. Причем после усовершенствования конструкции опрыскиватель становится универсальным для применения при различных технологиях. Когда требуется сплошная обработка, включаются обе магистрали. При полосовом возделывания пропашных культур включается магистраль, позволяющая перераспределить рабочий раствор с образованием нового потока, обрабатывающего объект воздействия строго по полосам.

### Результаты и их обсуждение

Выбор форсунок с большим углом распыла позволяет уменьшить расстояние от верхушек растения до распылителей. Однако это является причиной увеличения неравномерности ширины обработанной полосы при вертикальном колебании штанги опрыскивателя. При размещении форсунок с углом распыла  $80^\circ$  над поверхностью почвы на расстоянии 800 мм обработанная полоса примет размеры от 1331 до 829 мм в зависимости от колебаний штанги, составляющих до 300 мм (рис. 3, а).

При установке форсунок с углом распыла  $65^\circ$  наблюдаем изменение ширины обработанной полосы от 1018 до 634 мм. Это означает, что размеры обработанной полосы подвержены существенным колебаниям — до 38%. При выборе форсунки с углом распыла  $80^\circ$  покрытие верхней части растения улучшается, а расстояние между верхушками растения и штангой можно уменьшить, но неравномерность внесения химического вещества увеличивается и приводит к нежелательным нерациональным затратам и вредит окружающей среде. В связи с этим технологический процесс внесения химических веществ требует значительно совершенствования в вопросе перераспределения рабочего раствора в пределах нужной полосы.



**Рис. 3.** Изменение ширины обработанной полосы опрыскивателя:  
 а — для серийного опрыскивателя; б — для модернизированного опрыскивателя (угол конуса распыла 65°); в — для модернизированного опрыскивателя (угол конуса распыла 80°)

Применение предлагаемого технологического подхода делает возможным точечное перераспределение рабочего раствора с действующим веществом и снижение гектарных норм при сохранении нормы внесения по объектам. Дифференцированный подход в вопросах внесения химии в сельском хозяйстве позволяет также добиваться снижения стрессовых воздействий на культурные растения.

Данный способ бокового распыла преобразовывает потоки от каждой форсунки при их слиянии в новый поток с более стабильными параметрами. Это означает, что предлагаемый способ позволяет формировать поток рабочего раствора постоянной плотности практически исключая влияние вертикального колебания штанги. Предлагаемое техническое решение делает возможным быстрое переключение между корпусами для распылителей, облегчая переналадку между сплошным и полосовым опрыскиванием. Экономический эффект достигается за счет перераспределения рабочих растворов по полосам, концентрации рабочего раствора на объекте воздействия и минимизации непроизводительных потерь для плотности рабочего раствора при вертикальных колебаниях штанги.

Мониторинг технологической проблемы полосового опрыскивания показал, что при объеме посевных площадей, занятых под пропашными культурами в Волгоградской области, около 900 тыс. га и предусмотренной нормативной годовой нагрузке на один опрыскиватель, равной 360 га/год, для осуществления химической обработки растений наиболее эффективными и рациональными методами только в данном регионе может быть востребовано более 2,5 тысяч модернизированных опрыскивателей. Решение этой задачи представляется посильным для размещенного на территории Волгоградской области сборочного производства в рамках договора о сотрудничестве Волгоградского государственного аграрного университета и французской холдинговой компанией EXEL Industries. В 2018 г. начата работа по адаптации производимых опрыскивателей для эффективного применения в агротехнологиях полосового земледелия.

### Выводы

Применение способа полосовой химической обработки позволяет снизить гектарную норму внесения химических средств по сравнению со сплошной обработкой, не снижая нормы и качества обработки объектов воздействия.

Предложенный способ полосовой химической обработки почвы и растений имеет хорошие перспективы для применения в сельском хозяйстве с целью экономии затрат и решения экологических проблем, а дооборудованные серийные опрыскиватели штангового типа дополняют комплекс машин для полосовой обработки. Быстрая переналадка серийных опрыскивателей позволяет экономить затраты рабочего времени и денежные средства на покупку новой техники.

Опираясь на теоретические расчеты, основанные на полученных данных в лабораторных условиях, при обработке культур с междурядьем 0,7 м снижение расхода рабочего раствора составит 31,4%, а с междурядьем 0,9 м соответственно 38,9%.

Рекомендуется выбирать распылители для ленточного внесения гербицидов в рамках полосового воздействия щелевого инжекторного типа и распылители с полым конусом распыла.

### References

1. Zavrzhnov AI, Balashov AV, Djyachkov SV, Omarov AN, Strygin SP. Determination of design parameters of applicators for local processing of sugar beet crops. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2017; 31(1):52—55. (In Russ).
2. Borisenko IB, Shaprov MN, Dotsenko AE, Borisenko PI. Technology of basic soil cultivation and implements used in root crops production. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015; (6):76—79. (In Russ).
3. Medvedev GA, Ekaterinicheva NG, Chizhikov SA. Influence of the main treatment of soil on the yield of hybrids of sunflower in the subsona of the south chernozems of the Volgograd region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2019; (2):98—105. (In Russ). doi: 10.32786/2071-9485-2019-02-11
4. Borisenko IB, Shaprov MN, Borisenko PI. Agrotechnical approaches in the design of the working body of the minimum tillage with a strip deepening. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2013; (4):193—197. (In Russ).

5. Canales E, Bergtold J, Williams J. Modeling the choice of tillage used for dryland corn, wheat and soybean production by farmers in Kansas. *Agricultural and Resource Economics Review*. 2018; 47(1):90—117. doi: 10.1017/age.2017.23
6. Borisenko IB, Meznikova MV. Using the strip-till resource-saving technology in sorghum growing. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015; (6):82—84. (In Russ).
7. Zubarev YN. Green revolution — the factor of the progress of agriculture. *Perm Agrarian Journal*. 2014; (3):17—21. (In Russ).
8. Jaskulska I, Gałczewski L, Piekarczyk M, Jaskulski D. Strip-till technology — a method for uniformity in the emergence and plant growth of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) in different environmental conditions of Northern Poland. *Italian Journal of Agronomy*. 2018; 13(3):194—199. doi: 10.4081/ija.2018.981
9. Balashov AV. Using a block-module unit for pre-inspecial soil processing. *Science in the Central Russia*. 2018; (1):14—20. (In Russ).
10. Belenkov AI, Tyumakov AY, Sabo MU. Precision (coordinate) agriculture in the Russian State Agricultural University — Timiryazev Moscow Agricultural Academy: reality and prospects. *Bulletin of Altai State Agraric University*. 2015; (4):5—10. (In Russ).
11. Mi GH, Wu DL, Chen YL, Xia TT, Feng GZ, Li Q, Shi DF, Su XP, Gao Q. The ways to reduce chemical fertilizer input and increase fertilizer use efficiency in maize in Northeast China. *Scientia Agricultura Sinica*. 2018; 51(14):2758—2770. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2018.14.013
12. Lukhmenov VP. Influence of fertilizers, fungicides and growth regulators on sunflower yields. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2015; (1):41—46. (In Russ).
13. Borisenko IB, Chamurliev OG, Chamurliev GO, Meznikova MV. Efficiency estimation of striptill soil processing tecnology. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2018; 13(3):194—206. doi: 10.22363/2312-797X-2018-13-3-194-206

### Библиографический список

1. Завражнов А.И., Балашов А.В., Дьячков С.В., Омаров А.Н., Стрыгин С.П. Определение конструктивных параметров аппликаторов для локальной обработки посевов сахарной свеклы // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 1. С. 52—55.
2. Борисенко И.Б., Шапров М.Н., Доценко А.Е., Борисенко П.И. Технология основной обработки почвы и оборудование при производстве пропашных культур // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6(56). С. 76—79.
3. Медведев Г.А., Екатериничева Н.Г., Чижиков С.А. Влияние основной обработки почвы на урожайность гибридов подсолнечника в подзоне южных черноземов Волгоградской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2(54). С. 98—105. doi: 10.32786/2071-9485-2019-02-11.
4. Борисенко И.Б., Шапров М.Н., Борисенко П.И. Агротехнические подходы при проектировании рабочего органа минимальной обработки почвы с полосным углублением // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4 (32). С. 193—197.
5. Canales E., Bergtold J., Williams J. Modeling the Choice of Tillage Used for Dryland Corn, Wheat and Soybean Production by Farmers in Kansas // *Agricultural and Resource Economics Review*. 2018. Vol. 47. № 1. P. 90—117. doi:10.1017/age.2017.23
6. Борисенко И.Б., Мезникова М.В. Применение ресурсосберегающей технологии Strip-till при выращивании сорго // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 6(56). С. 82—84.
7. Зубарев Ю.Н. «Зеленая революция» — фактор прогресса земледелия // Пермский аграрный вестник. 2014. № 3(7). С. 17—21.



8. *Jaskulska I., Gałęzewski L., Piekarczyk M., Jaskulski D.* Strip-till technology — a method for uniformity in the emergence and plant growth of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) in different environmental conditions of Northern Poland // *Italian Journal of Agronomy*. 2018. Vol. 13. № 3. P. 194—199. doi: 10.4081/ija.2018.981
9. *Балашов А.В.* Использование блочно-модульного агрегата для предпосевной обработки почвы // *Наука в центральной России*. 2018. № 1(31). С. 14—20.
10. *Беленков А.И., Тюмаков А.Ю., Сабо М.У.* Точное (координатное) земледелие в АГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: реальность и перспективы // *Вестник Алтайского ГАУ*. 2015. № 4(126). С. 5—10.
11. *Mi G.H., Wu D.L., Chen Y.L., Xia T.T., Feng G.Z., Li Q., Shi D.F., Su X.P., Gao Q.* The Ways to Reduce Chemical Fertilizer Input and Increase Fertilizer Use Efficiency in Maize in Northeast China[J] // *Scientia Agricultura Sinica*. 2018. Vol. 51. № 14. P. 2758—2770. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2018.14.013
12. *Лухменев В.П.* Влияние удобрений, фунгицидов и регуляторов роста на продуктивность подсолнечника // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015. № 1(51). С. 41—46.
13. *Borisenko I.B., Chamurliiev O.G., Chamurliiev G.O., Meznikova M.V.* Efficiency estimation of striptill soil processing tecnology // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2018. Т. 13. № 3. С. 194—206. doi: 10.22363/2312-797X-2018-13-3-194-206

#### **About the authors:**

*Meznikova Marina Viktorovna* — Associate Professor, Department of Life Safety, Volgograd State Agricultural University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation, e-mail: marina\_roxette@mail.ru

*Borisenko Ivan Borisovich* — Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Agriculture and Agricultural Chemistry, Volgograd State Agricultural University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation, e-mail: boris-enivan@yandex.ru

*Ulybina Ekaterina Ivanovna* — Lecturer, Frolovsk Industrial and Economic College, 138 Stroitelei st., Frolovo, Volgograd Region, 403533, Russian Federation, e-mail: ulibina.ekat@yandex.ru

*Boyarkina Olga Vladimirovna* — Technician, Laboratory for Experimental Remote Sensing and Monitoring of Land Resources, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Mikluho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: boyarkina-ov@rudn.ru

#### **Об авторах:**

*Мезникова Марина Викторовна* — кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Волгоградского государственного аграрного университета, Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, д. 26, e-mail: marina\_roxette@mail.ru

*Борисенко Иван Борисович* — доктор технических наук, старший научный сотрудник кафедры земледелия и агрохимии, Волгоградского государственного аграрного университета, Российская Федерация, 400002, Волгоград, проспект Университетский, д. 26, e-mail: borisenivan@yandex.ru

*Улыбина Екатерина Ивановна* — преподаватель Фроловского промышленно-экономического техникума, Российская Федерация, 403533, Волгоградская область, Фролово, ул. Строителей, д. 138, e-mail: ulibina.ekat@yandex.ru

*Бояркина Ольга Владимировна* — техник лаборатории экспериментального дистанционного зондирования и мониторинга земельных ресурсов Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, e-mail: boyarkina-ov@rudn.ru



## ЖИВОТНОВОДСТВО Animal breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-466-480  
УДК 619:579.22

Научная статья / Research article

### Litter feed additive as source of amino acids and beneficial bacteria

Anna M. Stepanova, Nadezhda P. Tarabukina\*, Marfa P. Scryabina,  
Mikhail P. Neustroev, Svetlana I. Parnikova

Yakut Scientific Research Institute of Agriculture, Yakutsk, Russian Federation

\*Corresponding author: hotubact@mail.ru

**Abstract.** Feed additive was derived from poultry manure by microbiological synthesis. After a 10-day feeding poultry with probiotic strains of bacteria *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5, the litter does not contain potential enteropathogens and can be used as a raw material for feed additive. Based on the results of microbiological and biochemical studies the technology of feed additive (powder) with the use of extrusion was developed. Extrusion at a temperature of up to 120 °C for 5—6 seconds provides presence of beneficial bacteria and significantly high content of essential amino acids. According to the results of biochemical studies, litter feed additive contains 18 free amino acids. The total concentration of free amino acids in the feed additive (powder) is 406.3 mg/kg, which is 1.7 times higher than that in the litter without fermentation and extrusion. The experiments have shown that inclusion of 3.3% feed additive in the diet does not have negative effect on physiological state, viability and productivity of laying hens. Survival of birds in both groups was 100%. Additive application in the experimental group of chickens revealed absence of opportunistic pathogenic microorganisms and microscopic fungi, presence of bifidobacteria and spore-forming aerobic *Bacillus* bacteria in powder, as well as predominance of beneficial micro flora and lack of potential enteropathogens (compared to control). It allows to conclude that feed additive obtained by microbiological synthesis from bird droppings possess probiotic properties. The results of biochemical study of egg production indicate that the use of food additives (to 3.3% of the basic diet) for laying hens significantly increases content of major micro and macro-elements in eggs, compared to the control. Therefore, the use of feed additive-powder (up to 3.3% of the basic diet) does not reduce egg quality. Thus, based on the results of these studies, it can be concluded that the litter obtained from laying hens, after application of probiotic 'Nord-Bakt', further fermentation with strains *Bacillus subtilis* TNP-3 and *Bacillus subtilis* TNP-5, followed by extrusion can be used as a feed additive as a source of amino acids and beneficial bacteria.

**Key words:** laying hens, bird droppings, probiotics, strains of bacteria, *Bacillus subtilis* TNP-3, *Bacillus subtilis* TNP-5, extrusion, dust, free amino acids, beneficial microbiota, enteropathogens

© Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Скрязина М.П., Неустроев М.П., Парникова С.И., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## FUNDING ACKNOWLEDGEMENTS

The research was funded from budgetary funds in the framework of the state task.

## Article history:

Received: 25 February 2019. Accepted: 26 November 2019

## For citation:

Stepanova AM, Tarabukina NP, Scryabina MP, Neustroev MP, Parnikova SI. Litter feed additive as source of amino acids and beneficial bacteria. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):466—480. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-466-480

# Кормовая добавка из помета — источник аминокислот и полезных бактерий

А.М. Степанова, Н.П. Тарабукина\*, М.П. Скрябина,  
М.П. Неустроев, С.И. Парникова

ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»,  
Якутский НИИ сельского хозяйства им. М.Г. Сафронова,  
Якутск, Российская Федерация  
\*hotubact@mail.ru

**Аннотация.** Из птичьего помета путем микробиологического синтеза получена кормовая добавка. Помет птиц после 10 дней выпаивания пробиотиком из штаммов *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 не содержит потенциальных энтеропатогенов и может быть использован в виде сырья для получения кормовой добавки. При разработке технологии кормовой добавки — пудрета с применением экструдирования основывались на результатах микробиологических и биохимических исследований. Экструдирование при температуре до 120 °С в течение 5—6 с обеспечивает содержание полезных бактерий и достоверно высокое содержание незаменимых аминокислот. По результатам биохимических исследований в кормовой добавке из помета содержится 18 свободных аминокислот. Общая концентрация свободных аминокислот в пудрете составляет 406,3 мг/кг, что 1,7 раза выше, чем в помете без ферментации и экструдирования. Как показали опыты, включение в рацион 3,3% кормовой добавки не оказывает отрицательного действия на физиологическое состояние, жизнеспособность и продуктивность кур-несушек. Сохранность птиц в обеих группах — 100%. Отсутствие условно-патогенных микроорганизмов, микроскопических грибов и присутствия бифидо- и спорообразующих аэробных бактерий рода *Bacillus* в пудрете, а также преобладание представителей полезной нормофлоры и отсутствие потенциальных энтеропатогенов у опытной группы кур после его применения (по сравнению с контролем) позволяют сделать заключение о пробиотических свойствах кормовой добавки, полученной путем микробиологического синтеза из птичьего помета. Результаты биохимического исследования яичной продукции свидетельствуют, что применение кормовой добавки (до 3,3%) от основного рациона кур-несушек достоверно повышает содержание основных микро- и макроэлементов в яйце, по сравнению с контролем. Следовательно, применение кормовой добавки — пудрета (до 3,3% от основного рациона) не снижает качество яичной продукции.

Доказано, что фекалии от птиц при использовании препарата «Норд-Бакт» и дальнейшей ферментации их сочетанием бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 после экструдирования могут быть применены в качестве кормовой добавки как источник аминокислот и полезных микроорганизмов.

**Ключевые слова:** куры-несушки, птичий помет, пробиотик, штаммы бактерий, *B. subtilis* ТНП-3, *B. subtilis* ТНП-5, экструдирование, пудрет, свободные аминокислоты, полезная микробиота, энтеропатогены

**Благодарности. Финансирование.** Научно-исследовательская работа финансировалась за счет бюджетных средств в рамках выполнения государственного задания.

**История статьи:**

Поступила в редакцию: 25 февраля 2019 г. Принята к публикации: 26 ноября 2019 г.

**Для цитирования:**

Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Скрябина М.П., Неустроев М.П., Парникова С.И. Кормовая добавка из помета — источник аминокислот и полезных бактерий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 466—480. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-466-480

## Introduction

Today, there are many poultry farms in the country, where chickens, geese, turkeys and other bird species are bred in large quantities. Poultry products are meat, eggs, down and feathers. At the same time, the amount of generated waste (bird droppings) can often exceed the volume of the main production, reaching hundreds of tons per year. Therefore, the task of developing safe and waste-free technologies for obtaining poultry products, including organic waste in poultry complexes is urgent [1]. There are several ways to utilize organic poultry waste: they can be used in crop production as fertilizers, raw materials for feed additives, biofuels, as well as an additive for obtaining clean water from wastewater. Feed additives from processed raw materials and animal waste are not inferior to many feeds in nutritional value [2]. In addition, with bird droppings, up to 30...35% of undigested feed is released. Depending on keeping and feeding conditions, bird droppings can serve as a source of nutrients or as an environmental pollution factor [3].

The aim of the study was to develop production of probiotic feed additives from bird droppings processed using *Bacillus subtilis* bacteria strains.

## Materials and methods

The research work was carried out at Yakutsk Poultry Factory and microbial drug development laboratory of Physics and Technology Center of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. Laying hens of Rodonit-3 cross from industrial herd of No. 18 workshop were studied. Raw poultry manure of chickens was used as material for obtaining a feed additive (powder) after a 10-day use of Nord-Bakt probiotic, 0.01 ml or  $5 \times 10^7$  CFU per head, daily. For fermentation of fresh litter, Nord-Bakt was also used (equal combination of *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5 bacterial strains containing  $5 \times 10^9$  CFU/ml) at the rate of 1 ml per 100 g of litter and kept for 2 days at a temperature of 25...28 °C.

Then, to obtain powder, litter was treated in a thermal way: passed through Ekorm-1-1600.000 extruder. During the movement, the litter was heated and pressed at a temperature of 100...120 °C for 5—6 seconds, then cooled and crushed. For experiments on testing the obtained feed additive, laying hens at the age of 14 months in the amount of 24 animals were selected. An experimental group of laying hens received 3.3% of the powder from the main diet. The control group received the main diet without powder. The content was similar, corresponding to zootechnical standards, drinking was grooved with free access.

Microbiological studies of powdered samples and bird droppings were carried out for presence of bifidobacteria, enterococci, aerobic spore-forming bacteria, mesophilic aerobic facultative anaerobic microorganisms, enterobacteria, staphylococci, microscopic fungi according to the accepted standards [4—7]. Biochemical studies of powder and eggs were carried out on NIR SCANNER model 4250 infrared analyzer. The data were processed using the Snedecor program, Microsoft Excel, and Student's statistical processing.

### Results and discussion

In litter micro biota of the experimental bird groups after a 10-day watering with Nord-Bakt probiotic, only representatives of intestinal normobiosis (lacto- and bifidobacteria, enterococci, aerobic spore bacteria) were present, no pathogenic staphylococci, mold and toxigenic fungi were present, unlike litter of the control group of laying hens where the probiotic was not used.

The study results confirm the data obtained by A.M. Stepanova [8], when Nord-Bakt probiotic ensured microbiological survival of poultry waste.

High-temperature drying allows to effectively neutralizing the litter from opportunistic and pathogenic bacteria, while maintaining useful elements. Upon receipt of the powder, we proceeded from the results of microbiological and biochemical studies. Microbiological studies analyzed normoflora survival: bifidobacteria, enterococci, spore-forming aerobic bacteria and absence of pathogenic microorganisms. As the results (Table 1) showed, the absence of opportunistic microorganisms and microscopic fungi in the powder provided the extruder drying mode at 100...120 °C for 5—6 s.

Table 1

Number of microorganisms in litter feed additive, CFU/g

Type of microorganisms	Number of microorganisms, CFU/g	
	Before heat treatment	After heat treatment (extruder)
TMC	$7 \times 10^4$	$4.8 \times 10^4$
Spore bacteria ( <i>Bacillus</i> sp.)	$8 \times 10^4$	$1.2 \times 10^5$
Lactobacillus ( <i>Lactobacillus</i> sp.)		
$10^1$	$1.9 \times 10^5$	–
$10^3$	$1 \times 10^2$	–
$10^6$	–	–
Bifidobacteria ( <i>Bifidum</i> sp.)		
$10^1$	+++	+++
$10^3$	+++	+
$10^6$	+++	–
Enterococci ( <i>Enterococcus</i> sp)	$1.7 \times 10^5$	$3.2 \times 10^3$
Escherichia L+ ( <i>Escherichia</i> sp)	$9.2 \times 10^4$	–
Escherichia L– ( <i>Escherichia</i> sp)	–	–
Staphylococci ( <i>Staphylococcus</i> sp)	$6 \times 10^4$	–
Yersinia ( <i>Yersinia</i> sp)	–	–
Microscopic fungi	Yeasts	–

Designation. L+: Escherichia fermenting lactose; L–: Escherichia not fermenting lactose; –: lack of growth; +: single growth; +++: intensive growth.

Litter fermented with *B. subtilis* strains (1 ml or  $5 \times 10^9$  CFU per 100 g) and dried for 2 days at 25...28 °C before applying heat treatment contained a significant amount of bifidobacteria, lactobacilli up to  $1.9 \times 10^5$  CFU/g, enterococcus —  $1.7 \times 10^5$  CFU/g, spore-forming bacteria —  $8.0 \times 10^4$  CFU/g, lactose-positive *Escherichia* —  $9.2 \times 10^4$  CFU/g, staphylococcus —  $6.0 \times 10^4$  CFU/g, also sporadic yeasts.

The obtained feed additive (powder) after extrusion had sharply decreased TMC, bifidobacteria, enterococci; lactobacilli, lactose-positive *Escherichiae*, staphylococci and yeasts disappeared, and increased the number of spore-forming aerobe *Bacillus* bacteria (up to  $1.2 \times 10^5$  CFU/g), which were the basis of Nord-Bakt probiotic, used to obtain powder from bird droppings. Preparations based on *B. subtilis* are known to withstand heat and granulation [9, 10].

According to the results of biochemical studies, litter feed additive contains 18 free amino acids (table 2). The total concentration of free amino acids in the powder is 406.3 mg/kg, which is 1.7 times higher than in the litter without fermentation and extrusion. Free amino acids, getting into the blood, are involved in protein synthesis. A mixture of amino acids, unbound free proteins in animal feed increases their immune biological status, activates metabolism, improves appetite, digestibility of food and resistance to various diseases [2, 11, 12].

The inclusion of 3.3% of the powder in the diet does not have a negative effect on physiological state, vitality and productivity of laying hens. The survival of birds in both groups was 100%.

Table 2

Amino acid analysis of litter and powder samples

Amino acid, mg/kg	Litter of chickens who took Nord-Bakt probiotic with water (0.01 ml per bird)	Litter after <i>B. subtilis</i> fermentation and drying for 2 days at 25...28 °C	Powder after heat treatment through Ekorm 1.1600.000 extruder	Proportion of the total number of amino acids in the feed additive, %
Aspartic acid	22.1 ± 0.1	27.5 ± 1.1	45.1 ± 0.3***	9.1
Threonine	11.9 ± 0.1	14.8 ± 0.6	24.4 ± 0.2***	6.0
Serine	10.9 ± 0.1	13.1 ± 0.4	20.3 ± 0.1***	4.9
Glutamic acid	29.4 ± 0.1	35.0 ± 1.1	53.4 ± 0.3***	13.1
Proline	9.9 ± 0.1	11.8 ± 0.4	17.8 ± 0.1***	4.4
Glycine	13.2 ± 0.1	15.7 ± 0.5	23.7 ± 0.1***	5.8
Alanine	19.2 ± 0.1	21.0 ± 0.3	26.6 ± 0.1***	6.5
Cysteine	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.0	1.0 ± 0.0***	0.3
Valine	15.3 ± 0.1	18.5 ± 0.7	28.8 ± 0.2***	7.0
Methionine	6.0 ± 0.1	7.3 ± 0.2	12.2 ± 0.1***	3.0
Isoleucine	13.7 ± 0.1	16.7 ± 0.6	26.6 ± 0.2***	6.5
Leucine	22.3 ± 0.1	25.1 ± 0.6	34.3 ± 0.2***	8.4
Tyrosine	11.7 ± 0.1	12.9 ± 0.3	16.9 ± 0.22***	4.2
Phenylalanine	13.4 ± 0.1	14.9 ± 0.3	19.8 ± 0.1***	4.9
Ornithine	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.9 ± 0.1***	0.2
Lysine	17.2 ± 0.1	19.1 ± 0.4	25.3 ± 0.1***	6.2
Histidine	5.5 ± 0.1	6.6 ± 0.2	10.2 ± 0.1***	2.5
Arginine	—	16.0 ± 0.2	19.0 ± 0.1***	4.7

Note. \*\*\*  $P > 0.001$ .

Table 3

**Microflora of litter after feed additive application**

Microorganisms	The number of microorganisms, CFU/g	
	Experimental group	Control group
TMC	$1.2 \pm 10^5$	$1.2 \pm 10^5$
Spore bacteria ( <i>Bacillus</i> sp.)	$2.0 \pm 10^5$	$4.3 \pm 10^5$
Lactobacillus ( <i>Lactobacillus</i> sp.)	$4.5 \pm 10^5$	$1.2 \pm 10^5$
Bifidobacteria ( <i>Bifidum</i> sp.)		
$10^1$	+++	++
$10^3$	++	+
$10^6$	+	—
Enterococci ( <i>Enterococcus</i> sp)	$8.2 \pm 10^4$	$5.5 \pm 10^4$
Escherichia L+ ( <i>Escherichia</i> sp)	$9 \pm 10^4$	$5.1 \pm 10^3$
Escherichia L- ( <i>Escherichia</i> sp)	—	$1.4 \pm 10^3$
Staphylococci ( <i>Staphylococcus</i> sp)	$9.1 \pm 10^4$	$1.6 \pm 10^5$
Yersinia ( <i>Yersinia</i> sp)	—	—
Microscopic fungi	—	—

Designation. L+: Escherichia fermenting lactose; L-: Escherichia not fermenting lactose; -: lack of growth; +: single growth; +++: intensive growth.

Table 4

**Biochemical characteristics of chicken eggs after feeding with powder**

Elements	Experimental group		Control group	
	Yolk	White	Yolk	White
Water, %	$7.8 \pm 0.1^*$	$14.9 \pm 0.1^*$	$7.6 \pm 0.1$	$14.5 \pm 0.3$
Protein, %	$38.4 \pm 0.1^*$	$81.3 \pm 0.4^*$	$38.1 \pm 0.2$	$79.9 \pm 0.8$
Fat, %	$55.7 \pm 0.1^*$	$5.4 \pm 0.2^*$	$55.6 \pm 0.2$	$4.9 \pm 0.3$
Carbohydrate, %	$8.5 \pm 0.1^{**}$	$9.6 \pm 0.1^*$	$8.2 \pm 0.1$	$9.2 \pm 0.3$
Ash, %	$26.9 \pm 17.2^*$	$8.3 \pm 0.1^*$	$6.7 \pm 0.1$	$7.9 \pm 0.3$
Sodium, mg %	$171.6 \pm 1.4^*$	$1071.0 \pm 7.3^*$	$168.3 \pm 1.5$	$1048.9 \pm 14.0$
Potassium, mg %	$189.9 \pm 1.4$	$2.2 \pm 0.01^*$	$186.7 \pm 1.4$	$2.1 \pm 0.1$
Calcium, mg %	$277.2 \pm 0.4^*$	$79.3 \pm 0.4^*$	$276.3 \pm 0.3$	$77.9 \pm 0.8$
Magnesium, mg %	$34.9 \pm 0.2^*$	$87.5 \pm 0.4^*$	$34.4 \pm 0.2$	$86.4 \pm 0.7$
Phosphorus, g/100 g	$1.2 \pm 0.01$	$248.7 \pm 2.3^{**}$	$1.2 \pm 0.01$	$241.6 \pm 4.5$
Iron, mg %	$29.6 \pm 0.3$	$11.7 \pm 0.2^*$	$29.0 \pm 0.3$	$11.0 \pm 0.4$
Vitamin A, mg %	$2.6 \pm 0.01$	—	$2.6 \pm 0.01$	—
Vitamin B1, mg %	$0.5 \pm 0.01$	—	$0.5 \pm 0.01$	—
Vitamin B2, mg %	$0.8 \pm 0.01^*$	$6.7 \pm 0.1$	$0.8 \pm 0.01$	$6.3 \pm 0.2$

Note. \* $P < 0.05$ ; \*\* $P > 0.05$ .

Despite the absence and small number of beneficial microflora in the powder, chickens of the experimental group (Table 3) showed a higher content of lacto- and bifidobacteria in the intestinal microbiota, and the absence of lactose-negative escherichia compared to the control chickens, which received the full main feed ration without feed additives. The absence of opportunistic microorganisms, microscopic fungi, the presence of bifidobacteria and *Bacillus* spore-forming aerobic bacteria in the powder, predominance of beneficial normoflora and the absence of potential enteropathogens in the experimental group of chickens after its use (compared with the control) result in probiotic properties of the feed additive obtained by microbiological synthesis from bird droppings. The data obtained are consistent with the results of studies on the use of feed additives based on *B. subtilis*, *Bac. licheniformis* [13—18].

The results of egg biochemical study (Table 4) indicate that the use of powder (up to 3.3% of the main ration for laying hens) significantly increases content of main

micro- and macro-elements in eggs, compared with the control. At the same time, egg quality does not decrease. Thus, the litter obtained by litter extrusion after watering with the Nord-Bakt probiotic and subsequent fermentation with *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5 is promising as a feed additive containing amino acids and beneficial microorganisms.

### Conclusions

1. The drying mode for litter feed additive with an extruder at 100...120 °C for 5—6 s ensures destruction of opportunistic pathogenic microorganisms and microscopic fungi.

2. TMC sharply decreased in powder after extrusion, the number of bifidobacteria, enterococci, lactobacilli, lactose-positive escherichia, staphylococcus, and yeast completely disappeared, but the number of spore-forming aerobic *Bacillus* bacteria increased ( $1.2 \times 10^5$  CFU/g), which are the basis of Nord-Bakt probiotic used to obtain powder from birds litter.

3. The litter contains 18 free amino acids. The total concentration of free amino acids in the powder was 406.3 mg/kg, which was 1.7 times higher than in the litter without fermentation and extrusion.

4. The inclusion of 3.3% of the feed additive in the bird ration did not adversely affect the physiological state, viability and productivity of laying hens, significantly increased the content of the main micro and macro elements in the egg.

5. The powder obtained by extruding bird droppings after watering with the Nord-Bakt probiotic and fermenting with *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5 strains can be added as a source of amino acids and useful bacteria to the ration of laying hens.

### Введение

На сегодняшний день в стране существует множество птицефабрик, где в больших количествах разводят кур, гусей, индеек и другие виды птиц. Продукты производства птицефабрик — мясо, яйца, перо и пух. При этом нередко количество образующихся отходов (а именно птичьего помета) может превышать объем основной продукции, достигая сотен тонн в год, в связи с чем актуальна задача разработки безопасных и безотходных технологий получения продукции птицеводства, включающих органические отходы в птицеводческих комплексах [1]. Существует несколько способов утилизации органических отходов птицеводства: использование их в растениеводстве как удобрений, сырья для получения кормовых добавок, получение биотоплива, а также чистой воды из сточных вод. Кормовые добавки из переработанного сырья и отходов животноводства не уступают многим кормам по питательной ценности [2]. Кроме того, с пометом птиц выходит до 30...35% не переваренного корма. В зависимости от условий содержания и кормления птицы птичий помет может служить источником полезных веществ или фактором загрязнения природной среды [3].

Цель исследования — разработка производства пробиотической кормовой добавки из птичьего помета, переработанного с применением штаммов бактерий *Bacillus subtilis*.



## Материалы и методы

Научно-исследовательская работа проведена в ОАО «Якутская птицефабрика» на курах-несушках кросса «Родонит-3» промышленного стада в цехе № 18 и лаборатории по разработке микробных препаратов ФГБУН ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» ЯНИИСХ. В качестве сырья для получения кормовой добавки (пудрета) использовали сырой птичий помет кур после 10-дневного применения пробиотика «Норд-Бакт» по 0,01 мл или  $5 \times 10^7$  КОЕ на 1 голову, ежедневно. Для ферментации свежеполученного помета использовали также препарат «Норд-Бакт» (представляющий равное сочетание штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 и содержащий  $5 \times 10^9$  КОЕ/мл) из расчета 1 мл на 100 г помета и выдерживали в течение 2 дней при температуре 25...28 °С.

Затем для получения пудрета обработали помет термическим способом: пропустили через экструдер марки «Экорм-1-1600.000», при движении помет подвергался разогреву и прессованию при температуре 100...120 °С в течение 5—6 с, затем охлаждению и измельчению. Для опытов по испытанию полученной кормовой добавки отобраны куры-несушки в возрасте 14 месяцев в количестве 24 голов. Опытная группа кур-несушек получала 3,3% пудрета от основного рациона. Контрольная группа получала основной рацион без пудрета. Содержание аналогичное, соответствующее зоотехническим нормам, поение желобковое, доступ свободный.

Микробиологические исследования проб пудрета, помета птиц проведены на наличие бифидо-лактобактерий, энтерококков, аэробных спорообразующих бактерий, также на содержание мезофильных аэробных факультативно-анаэробных микроорганизмов, энтеробактерий, стафилококков, микроскопических грибов, по общепринятым методикам [4—7]. Биохимические исследования пудрета и яиц проведены на инфракрасном анализаторе ИКА NIR SCANNER model 4250. Обработку полученных данных проводили с использованием программы Snedecor, Microsoft Excel и также использовали статистическую обработку по Стьюденту.

## Результаты и обсуждения

В микробиоте помета опытных групп птиц после 10-дневного поения пробиотиком «Норд-Бакт» присутствует только представители нормобиоза кишечника (лакто- и бифидобактерии, энтерококки, аэробные споровые бактерии), не содержатся патогенные стафилококки, плесневые и токсигенные грибы в отличие от помета контрольной группы кур-несушек, у которых не применялся препарат.

Результаты исследований подтверждают данные, полученные А.М. Степановой [8], о том, что применение пробиотика «Норд-Бакт» обеспечивает микробиологическую безопасность отходов птицеводства.

Высокотемпературная сушка позволяет эффективно обезвредить помет от условно-патогенных и патогенных бактерий, сохраняя при этом полезные элементы. При получении пудрета исходили из результатов микробиологических и биохимических исследований. При микробиологическом исследовании учитывали сохранность представителей нормофлоры: бифидо-лактобактерии, энтерококки, спорообразующие аэробные бактерии и отсутствие патогенных микроорганизмов. Как показали результаты исследований (табл. 1), отсутствие условно-патогенных микроорганизмов и микроскопических грибов в пудрете обеспечивает режим сушки экструдером при температуре 100...120 °С в течение 5—6 с.

Таблица 1

**Количество микроорганизмов в кормовой добавке из помета птиц, КОЕ/г**

Названия микроорганизмов	Количество микроорганизмов, КОЕ/г	
	до термической обработки	после термической обработки (экструдер)
КМАФАнМ	$7 \pm 10^4$	$4,8 \pm 10^4$
Споровые бактерии ( <i>Bacillus sp.</i> )	$8 \pm 10^4$	$1,2 \pm 10^5$
Лактобактерии ( <i>Lactobacillus sp.</i> )		
$10^1$	$1,9 \pm 10^5$	–
$10^3$	$1 \pm 10^2$	–
$10^6$	–	–
Бифидобактерии ( <i>Bifidum sp.</i> )		
$10^1$	+++	+++
$10^3$	+++	+
$10^6$	+++	–
Энтерококки ( <i>Enterococcus sp.</i> )	$1,7 \pm 10^5$	$3,2 \pm 10^3$
Эшерихии Л+ ( <i>Escherichia sp.</i> )	$9,2 \pm 10^4$	–
Эшерихии Л– ( <i>Escherichia sp.</i> )	–	–
Стафилококки ( <i>Staphylococcus sp.</i> )	$6 \pm 10^4$	–
Иерсинии ( <i>Yersinia sp.</i> )	–	–
Микроск. грибы	Дрожжи	–

Обозначения. Л+ — эшерихии, ферментирующие лактозу; Л– — эшерихии, не ферментирующие лактозу; – — отсутствие роста; + — единичный рост; +++ — интенсивный рост.

Помет, ферментированный штаммами бактерий *B. subtilis* (из расчета 1 мл или  $5 \times 10^9$  КОЕ на 100 г) и высушенный в течение 2 дней при температуре 25...28 °С до применения термической обработки, содержит значительное количество бифидобактерий, лактобактерий до  $1,9 \times 10^5$  КОЕ/г, энтерококков —  $1,7 \times 10^5$  КОЕ/г, спорообразующих бактерий —  $8,0 \times 10^4$  КОЕ/г, лактозоположительных эшерихий —  $9,2 \times 10^4$  КОЕ/г, стафилококков —  $6,0 \times 10^4$  КОЕ/г, также единичные дрожжи.

В полученной кормовой добавке (пудрете) после экструдирования резко сократилось КМАФАнМ, количество бифидобактерий, энтерококков (примерно на 2 порядка), исчезли лактобактерии, лактозоположительные эшерихии, стафилококки, дрожжи, и в тоже время не только сохранилось, но и увеличилось число спорообразующих аэробных бактерий рода *Bacillus* (до  $1,2 \times 10^5$  КОЕ/г), которые являются основой пробиотика «Норд-Бакт», использованного при получении пудрета из птичьего помета. Как известно, препараты на основе *B. subtilis* выдерживают нагревание и гранулирование [9, 10].

По результатам биохимических исследований в кормовой добавке из помета содержится 18 свободных аминокислот (табл. 2). Общая концентрация свободных аминокислот в пудрете составляет 406,3 мг/кг, что 1,7 раза выше, чем в помете без ферментации и экструдирования. Свободные аминокислоты, попадая в кровь, участвуют в синтезе белков. Смесь аминокислот, несвязанных свободных белков в составе комбикормов животных повышают их иммунобиологический статус, активизируют обмен веществ, улучшают аппетит, переваримость кормов и сопротивляемость к различным заболеваниям [2, 11, 12].

Аминокислотный анализ образцов помета и пудрета

Аминокислота, мг/кг	Помет кур, принимавших пробиотик «Норд-Бакт» с водой в дозе из расчета 0,01 мл на 1 гол.	Помет после ферментации штаммами <i>B. subtilis</i> и сушки в течение 2 дней при температуре 25...28 °С	Пудрет после термической обработки через экструдер «Эжорм 1.1600.000»	Доля от общего количества аминокислот в кормовой добавке, %
Аспарагиновая кислота	22,1 ± 0,1	27,5 ± 1,1	45,1 ± 0,3***	9,1
Треонин	11,9 ± 0,1	14,8 ± 0,6	24,4 ± 0,2***	6,0
Серин	10,9 ± 0,1	13,1 ± 0,4	20,3 ± 0,1***	4,9
Глутаминовая кислота	29,4 ± 0,1	35,0 ± 1,1	53,4 ± 0,3***	13,1
Пролин	9,9 ± 0,1	11,8 ± 0,4	17,8 ± 0,1***	4,4
Глицин	13,2 ± 0,1	15,7 ± 0,5	23,7 ± 0,1***	5,8
Аланин	19,2 ± 0,1	21,0 ± 0,3	26,6 ± 0,1***	6,5
Цистеин	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,0	1,0 ± 0,0***	0,3
Валин	15,3 ± 0,1	18,5 ± 0,7	28,8 ± 0,2***	7,0
Метионин	6,0 ± 0,1	7,3 ± 0,2	12,2 ± 0,1***	3,0
Изолейцин	13,7 ± 0,1	16,7 ± 0,6	26,6 ± 0,2***	6,5
Лейцин	22,3 ± 0,1	25,1 ± 0,6	34,3 ± 0,2***	8,4
Тирозин	11,7 ± 0,1	12,9 ± 0,3	16,9 ± 0,22***	4,2
Фенилаланин	13,4 ± 0,1	14,9 ± 0,3	19,8 ± 0,1***	4,9
Орнитин	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,9 ± 0,1***	0,2
Лизин	17,2 ± 0,1	19,1 ± 0,4	25,3 ± 0,1***	6,2
Гистидин	5,5 ± 0,1	6,6 ± 0,2	10,2 ± 0,1***	2,5
Аргинин	—	16,0 ± 0,2	19,0 ± 0,1***	4,7

Примечание. \*\*\*  $P > 0,001$ .

Включение в рацион 3,3% пудрета не оказывает отрицательного действия на физиологическое состояние, жизнеспособность и продуктивность кур-несушек. Сохранность птиц в обеих группах 100%.

Несмотря на отсутствие и малое количество представителей полезной микрофлоры в пудрете, у кур опытной группы (табл. 3) в микробиоте кишечника отмечено более высокое содержание лакто- и бифидобактерий, отсутствие лактозоотрицательных эшерихий в отличие от кур контрольной группы, получавших полный основной рацион комбикорма без кормовой добавки. Отсутствие условно-патогенных микроорганизмов, микроскопических грибов, присутствие бифидо- и спорообразующих аэробных бактерий рода *Bacillus* в пудрете, преобладание представителей полезной нормофлоры и отсутствие потенциальных энтеропатогенов у опытной группы кур после его применения (по сравнению с контролем) обуславливают пробиотические свойства кормовой добавки, полученной путем микробиологического синтеза из птичьего помета. Полученные данные согласуются с результатами исследований по применению кормовых добавок на основе штаммов бактерий *B. subtilis*, *Bac. licheniformis* [13—18].

Таблица 3

**Микрофлора помета птиц после применения кормовой добавки**

Микроорганизмы	Количество микроорганизмов в фекалиях, КОЕ/г	
	Опытная группа	Контрольная группа
КМАФАнМ	$1,2 \pm 10^5$	$1,2 \pm 10^5$
Споровые бактерии ( <i>Bacillus sp.</i> )	$2,0 \pm 10^5$	$4,3 \pm 10^5$
Лактобактерии ( <i>Lactobacillus sp.</i> ) $10^1$	$4,5 \pm 10^5$	$1,2 \pm 10^5$
Бифидобактерии ( <i>Bifidum sp.</i> ) $10^1$	+++	++
$10^3$	++	+
$10^6$	+	—
Энтерококки ( <i>Enterococcus sp.</i> )	$8,2 \pm 10^4$	$5,5 \pm 10^4$
Эшерихии Л+ ( <i>Escherichia sp.</i> )	$9 \pm 10^4$	$5,1 \pm 10^3$
Эшерихии Л- ( <i>Escherichia sp.</i> )	—	$1,4 \pm 10^3$
Стафилококки непатогенные ( <i>Staphylococcus sp.</i> )	$9,1 \pm 10^4$	$1,6 \pm 10^5$
Иерсинии ( <i>Yersinia sp.</i> )	—	—
Микроск. грибы	—	—

Примечание. Л+ — эшерихии, ферментирующие лактозу; Л- — эшерихии, не ферментирующие лактозу; — — отсутствие роста; + — единичный рост; +++ — интенсивный рост.

Таблица 4

**Результаты биохимических исследований яиц кур после скармливания пудрета**

Элементы	Опытная группа		Контрольная группа	
	Желток	Белок	Желток	Белок
Вода, %	$7,8 \pm 0,1^*$	$14,9 \pm 0,1^*$	$7,6 \pm 0,1$	$14,5 \pm 0,3$
Белок, %	$38,4 \pm 0,1^*$	$81,3 \pm 0,4^*$	$38,1 \pm 0,2$	$79,9 \pm 0,8$
Жир, %	$55,7 \pm 0,1^*$	$5,4 \pm 0,2^*$	$55,6 \pm 0,2$	$4,9 \pm 0,3$
Углеводы, %	$8,5 \pm 0,1^{**}$	$9,6 \pm 0,1^*$	$8,2 \pm 0,1$	$9,2 \pm 0,3$
Зола, %	$26,9 \pm 17,2^*$	$8,3 \pm 0,1^*$	$6,7 \pm 0,1$	$7,9 \pm 0,3$
Натрий, мг %	$171,6 \pm 1,4^*$	$1\ 071,0 \pm 7,3^*$	$168,3 \pm 1,5$	$1\ 048,9 \pm 14,0$
Калий, мг %	$189,9 \pm 1,4$	$2,2 \pm 0,01^*$	$186,7 \pm 1,4$	$2,1 \pm 0,1$
Кальций, мг %	$277,2 \pm 0,4^*$	$79,3 \pm 0,4^*$	$276,3 \pm 0,3$	$77,9 \pm 0,8$
Магний, мг %	$34,9 \pm 0,2^*$	$87,5 \pm 0,4^*$	$34,4 \pm 0,2$	$86,4 \pm 0,7$
Фосфор, г/100 г	$1,2 \pm 0,01$	$248,7 \pm 2,3^{**}$	$1,2 \pm 0,01$	$241,6 \pm 4,5$
Железо, мг %	$29,6 \pm 0,3$	$11,7 \pm 0,2^*$	$29,0 \pm 0,3$	$11,0 \pm 0,4$
Витамин А, мг %	$2,6 \pm 0,01$	—	$2,6 \pm 0,01$	—
Витамин В <sub>1</sub> , мг %	$0,5 \pm 0,01$	—	$0,5 \pm 0,01$	—
Витамин В <sub>2</sub> , мг %	$0,8 \pm 0,01^*$	$6,7 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,01$	$6,3 \pm 0,2$

Примечание. \* $P < 0,05$ ; \*\* $P > 0,05$ .

Результаты биохимического исследования яичной продукции (табл. 4) свидетельствуют, что применение пудрета (до 3,3% от основного рациона кур-несушек) достоверно повышает содержание основных микро- и макроэлементов в яйце, по сравнению с контролем. При этом не снижается качество яичной продукции. Таким образом, подтверждается полученный путем экструдирования помета птиц после поения пробиотиком «Норд-Бакт» и последующей ферментации суспензией штаммов *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 перспективен в качестве кормовой добавки как источник аминокислот и полезных микроорганизмов.

## Выводы

1. Режим сушки кормовой добавки из помета птиц экструдером при температуре 100...120 °С в течение 5—6 с обеспечивает уничтожение условно-патогенных микроорганизмов и микроскопических грибов.

2. В пудрете после экструдирования резко сократилось КМАФАнМ, количество бифидобактерий, энтерококков (примерно на 2 порядка), совершенно исчезли лактобактерии, лактозоположительные эшерихии, стафилококки, дрожжи, однако увеличилось число спорообразующих аэробных бактерий рода *Bacillus* (до  $1,2 \times 10^5$  КОЕ/г), которые являются основой пробиотика «Норд-Бакт», использованным при получении пудрета из птичьего помета.

3. В кормовой добавке из помета содержится 18 свободных аминокислот. Общая концентрация свободных аминокислот в пудрете составила 406,3 мг/кг, что 1,7 раза выше, чем в помете без ферментации и экструдирования.

4. Включение в рацион птиц 3,3% кормовой добавки не оказывало отрицательного действия на физиологическое состояние, жизнеспособность и продуктивность кур-несушек, достоверно повысило содержание основных микро- и макроэлементов в яйце.

5. Пудрет, полученный экструдированием помета птиц после поения пробиотиком «Норд-Бакт» и дальнейшей его ферментацией суспензией штаммов *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5, может как кормовая добавка добавляться в рацион кур-несушек в качестве источника аминокислот и полезных бактерий.

## References

1. Kasil I, Ter-Sarkisyan E. The poultry's dung is a source of growth promoters. *Kombikorma*. 2007; (8):83—84. (In Russ).
2. Bolotina EN. Extruded feeds use for pigs fattening. *Bulletin Samara state agricultural academy*. 2014; (1):118—122. (In Russ).
3. Garzanov A, Dorofeeva O, Kapustin C. Extruded feed from biowaste. *Kombikorma*. 2011; (8):47—48. (In Russ).
4. Artemieva SA, Artemieva TN, Dmitrieva AI, Dorutina VV. *Mikrobiologicheskii kontrol' myasa zhivotnykh, ptitsy, yaits i produktov ikh pererabotki: spravochnik* [Microbiological control of animal meat, poultry, eggs and their products: handbook. Moscow: KolosS Publ.; 2002. (In Russ).
5. Sidorov MA, Skorodumov DI, Fedotov VB. *Opredelitel' zoopatogennykh mikroorganizmov: spravochnik* [Determinant of zoonotic microorganisms: a guide]. Moscow: Kolos Publ.; 1995. (In Russ).
6. Berkeley R, Bock E, Boone D, Brenner D. *Opredelitel' bakterii Berdzhii: Spravochnik: v 2 t.* [The determinant of bacteria Bergey: a guide: in 2 volumes]. Vol. 1. 9th ed. Moscow: Mir Publ.; 1997. (In Russ).
7. Cherepneva IE. *Sovremennye metody issledovaniya mikroorganizmov* [Modern methods for study of microorganisms]. Kazan: KSU Publ.; 1998. (In Russ).
8. Stepanova AM. *Tekhnologiya primeneniya probiotika iz shtammov bakterii B. subtilis TNP-3 i B. subtilis TNP-5 v ptitsevodstve* [The technology of using a probiotic from *B. subtilis* TNP-3 and *B. subtilis* TNP-5 bacterial strains in poultry farming] [Dissertation] Yakutsk; 2011. (In Russ).
9. Gryazneva TN. *Tekhnologiya proizvodstva probiotika Biod-5 i ego lechebno-profilakticheskaya effektivnost' dlya raznykh vidov zhivotnykh* [The production technology of probiotic Biod-5 and its therapeutic and prophylactic efficacy for different types of animals] [Dissertation]. Moscow; 2005. (In Russ).

10. Tatarchuk OP. General properties of *Bacillus subtilis* CBS 117162 probiotic strain and feed additive thereof. *Veterinary medicine*. 2012; (4):20—22. (In Russ).
11. Dhama K, Verma V, Sawant PM, Tiwari R, Vaid RK, Chauhan RS. Applications of probiotics in poultry: enhancing immunity and beneficial effects on production performances and health. *Journal of Immunology and Immunopathology*. 2011; 13(1):1—19.
12. Park YH, Hamidon F, Rajangan C, Soh KP, Gan CY, Lim TS, Abdullah WN, Liong MT. Application of probiotics for the production of safe and high-quality poultry meat. *Korean J Food Sci Anim Resour*. 2016; 36(5): 567—576. doi: 10.5851/kosfa.2016.36.5.567
13. Malik EV, Kozak SS, Adamov AN. The use of probiotic additive ‘Biocorm Pioneer’ to increase microbiological safety of poultry products. In: *Novye mirovye tendentsii v proizvodstve produktov iz myasa ptitsy i yaits* [New global trends in the production of products from poultry meat and eggs]. Moscow: VNIIPP Publ.; 2006. p. 205—209. (In Russ).
14. Panin AN, Malik IN. Probiotics in rational feeding of animals. Probiotics, prebiotics, synbiotics and functional foods. *Klinicheskoe pitanie*. 2007; (1—2):59—60.
15. Samburov NV, Trubnikov DV, Popov VS, Babaskin RN. Probiotic feed additives in technology of cultivation weaned piglets. *Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2017; (2):29—34. (In Russ).
16. Stepanova AM, Tarabukina NP, Neustroev MP, Neustroev DD, Parnikova SI, Fedorova MP. Feed additive obtained by micro-biological synthesis from poultry waste. *Trudy VIEV*. 2016; 79:289—296. (In Russ).
17. Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov SA. *Nauchnye osnovy kormleniya sel'sko-khozyaistvennoi ptitsy* [Scientific principles of feeding poultry]. Sergiev Posad: VNITIP Publ.; 2009. (In Russ).
18. Nozdrin GA, Ivanova AB, Shevchenko AI, Shevchenko SA. *Probiotiki i mikronutrienty pri intensivnom vyrashchivanii tsyplyat krossa Smena* [Probiotics and micronutrients during intensive rearing of Smena chickens]. Novosibirsk: Ornament Publ.; 2009.

### Библиографический список

1. Кисиль И., Тер-Саркисян Э. Птичий помет — источник стимуляторов роста // Комбикорма. 2007. № 8. С. 83—84.
2. Болотина Е.Н. Использование экструдированных кормов при откорме свиней // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. № 1. С. 118—122.
3. Гарзанов А., Дорофеева О., Капустин С. Экструдированные корма из биоотходов // Комбикорма. 2011. № 8. С. 47—48.
4. Артемьева С.А., Артемьева Т.Н., Дмитриева А.И., Дорутина В.В. Микробиологический контроль мяса животных, птицы, яиц и продуктов их переработки: справочник / под ред. Г.В. Быковская, Л.Л. Кожина. М.: КолосС, 2002. 287 с.
5. Сидоров М.А., Скородумов Д.И., Федотов В.Б. Определитель зоопатогенных микроорганизмов: справочник. М.: Колос, 1995. 107 с.
6. Беркли Р., Бок Э., Бун Дэвид, Бреннер Д. Определитель бактерий Берджи: Справочник: в 2 т. / под ред. Д. Хоулт, Н. Криг, П. Снит; пер. с англ. под ред., предисл. Г.А. Заварзин. 9-е изд. М.: Мир, 1997. Т. 1.
7. Современные методы исследования микроорганизмов / сост. И.Е. Черепнева; ред. И.Б. Лещинская. Казань: КГУ, 1998. 63 с.
8. Степанова А.М. Технология применения пробиотика из штаммов бактерий *B. subtilis* ТНП-3 и *B. subtilis* ТНП-5 в птицеводстве: автореф. ... канд. вет. наук. Якутск, 2011. 19 с.
9. Грязнева Т.Н. Технология производства пробиотика Биод-5 и его лечебно-профилактическая эффективность для разных видов животных: автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М., 2005. 32 с.

10. *Татарчук О.П.* Характеристика пробиотического штамма *B. subtilis* CBS 117162 и кормовой добавки на его основе // *Ветеринария*. 2012. № 4. С. 20—22.
11. *Dhama K., Verma V., Sawant P.M., Tiwari R., Vaid R.K., Chauhan R.S.* Applications of Probiotics in Poultry: Enhancing Immunity and Beneficial Effects on production Performances and Health // *Journal of Immunology and Immunopathology*. 2011. Vol. 13. № 1. P. 1—19.
12. *Park Y.H., Hamidon F., Rajangan C., Soh K.P., Gan C.Y., Lim T.S., Abdullah W.N., Liong M.T.* Application of Probiotics for the Production of Safe and High-quality Poultry Meat // *Korean J Food Sci Anim Resour*. 2016. Vol. 36. № 5. P. 567—576. doi: 10.5851/kosfa.2016.36.5.567
13. *Малик Е.В., Козак С.С., Адамов А.Н.* Использование пробиотической добавки «Биокорм Пионер» для повышения микробиологической безопасности птицеводческой продукции // *Новые мировые тенденции в производстве продуктов из мяса птицы и яиц*. М.: ВНИИПП, 2006. С. 205—209.
14. *Панин А.Н., Малик И.Н.* Пробиотики в системе рационального кормления животных // *Клиническое питание*. 2007. № 1—2. С. 59—60.
15. *Самбуров Н.В., Трубников Д.В., Попов В.С., Бабаскин Р.Н.* Пробиотические кормовые добавки в технологии выращивания поросят-отъемышей // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 2. С. 29—34.
16. *Степанова А.М., Тарабукина Н.П., Неустроев М.П., Неустроев Д.Д., Парникова С.И., Скрыбина М.П.* Кормовая добавка, полученная путем микробиологического синтеза из отходов птицеводства // *Труды ВИЭВ*. 2016. Т. 79. С. 289—296.
17. *Фисинин В.И., Егоров И.А., Околелова Т.М., Имангулов Ш.А.* Научные основы кормления сельскохозяйственной птицы // *Переработанное и дополненное издание*. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2009. 352 с.
18. *Ноздрин Г.А., Иванова А.Б., Шевченко А.И., Шевченко С.А.* Пробиотики и микронутриенты при интенсивном выращивании цыплят кросса Смена. Новосибирск: Орнамент, 2009. 197 с.

#### **About the authors:**

*Stepanova Anna Mikhailovna* — Candidate of Veterinary Sciences, senior researcher, Laboratory for development of microbial preparations, Yakut Scientific Research Institute of Agriculture; 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo st., Yakutsk, 677001, Russian Federation, e-mail: stepanova\_anna1985@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1745-2611>

*Tarabukina Nadezhda Petrovna* — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of Laboratory for development of microbial preparations, Yakut Scientific Research Institute of Agriculture; 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo st., Yakutsk, 677001, Russian Federation, e-mail: hotubact@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-5493-8809>

*Skryabina Marfa Pavlovna* — Candidate of Veterinary Sciences, leading research associate, Laboratory for development of microbial preparations, Yakut Scientific Research Institute of Agriculture; 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo st., Yakutsk, 677001, Russian Federation, e-mail: hotubact@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4306-5958>

*Neustroev Mikhail Petrovich* — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of Laboratory of veterinary biotechnology, Yakut Scientific Research Institute of Agriculture; 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo st., Yakutsk, 677001, Russian Federation, e-mail: mneyc@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-0672-4109>

*Parnikova Svetlana Ivanovna* — candidate of veterinary sciences, senior researcher, Laboratory for development of microbial preparations, Yakut Scientific Research Institute of Agriculture; 23/1, Bestuzheva-Marlinskogo st., Yakutsk, 677001, Russian Federation, e-mail: hotubact@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0808-3627>

**Об авторах:**

*Степанова Анна Михайловна* — кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник лаборатории по разработке микробных препаратов, Якутский НИИ сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»; Российская Федерация, 677001, г. Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, д. 23/1; e-mail: [stepanova\\_anna1985@mail.ru](mailto:stepanova_anna1985@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0002-1745-2611>

*Тарабукина Надежда Петровна* — доктор ветеринарных наук, профессор, зав. лаборатории по разработке микробных препаратов, Якутский НИИ сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»; Российская Федерация, 677001, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, д. 23/1; e-mail: [hotubact@mail.ru](mailto:hotubact@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0002-5493-8809>

*Скрябина Марфа Павловна* — кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории по разработке микробных препаратов, Якутский НИИ сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»; Российская Федерация, 677001, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, д. 23/1; e-mail: [hotubact@mail.ru](mailto:hotubact@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0003-4306-5958>

*Неустроев Михаил Петрович* — доктор ветеринарных наук, профессор, зав. лаборатории ветеринарной биотехнологии, Якутский НИИ сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»; Российская Федерация, 677001, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, д. 23/1; e-mail: [mneuc@mail.ru](mailto:mneuc@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0003-0672-4109>

*Парникова Светлана Ивановна* — кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, лаборатории по разработке микробных препаратов Якутский НИИ сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН»; Российская Федерация, 677001, Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, д. 23/1; e-mail: [hotubact@mail.ru](mailto:hotubact@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0002-0808-3627>





## Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-481-491

Research article

### Biocidal activity of the extracts of *Vernonia amygdalina* against ticks responsible for livestock diseases

Muhimuzi Bisusa<sup>1\*</sup>, Mashimango Bagalwa<sup>1, 2</sup>,  
Dieudonné N. Zirirane<sup>2</sup>, Nachigera Mushagalusa<sup>2, 3</sup>,  
Katcho Karume<sup>4, 2</sup>

<sup>1</sup>Research Center in Natural Sciences,  
CRSN-Lwiro, D.S. Bukavu, Democratic Republic of Congo

<sup>2</sup>Evangelical University in Africa, Faculty of Agronomy and Environment,  
B.P. Bukavu, Democratic Republic of Congo

<sup>3</sup>Higher Institute of Rural Development, Bukavu, Democratic Republic of Congo

<sup>4</sup>Goma Volcanological Observatory, Department of Geochemistry and Environment,  
Goma, North Kivu, Democratic Republic of Congo

\*Corresponding author: [bisusamuhimuzi@gmail.com](mailto:bisusamuhimuzi@gmail.com)

**Abstract.** Biocidal activity of *Vernonia amygdalina* was assessed on *Rhipicephalus appendiculatus* ticks responsible for livestock diseases in North and South-Kivu provinces. In vitro trials were conducted in the laboratory of Lwiro Research Center for Natural Sciences to determine the lethal dose for different days after ticks contact with extracts. Five different dosages of 1.25, 2.5, 5, 10, 20 g/mL were evaluated. Water was considered as positive control and Batycol as negative control. The phytochemical screening of extracts of *Vernonia amygdalina* plant shows that this plant contains several substances responsible for acaricidal activity, mainly saponins, terpenoids, steroids and tannins. The experiment shows a mortality rate that varies with the concentration of the extracts; the most fatal is 20 g/mL and decreases with exposure time. The aqueous extracts showed a progressive decrease in mortality compared to ethanol extracts. This is due to the dissolution of the substances responsible for this insecticidal activity. The study recommends the application of aqueous extracts of *Vernonia amygdalina* in the fight against cattle ticks. Indeed, this is a natural insecticide available and easier to prepare, non-toxic to humans and is rapidly degraded in the environment.

**Key words:** biocidal, *Rhipicephalus appendiculatus*, *Vernonia amygdalina*, aqueous extract, ethanolic extract

© Bisusa M., Bagalwa M., Zirirane D.N., Mushagalusa N., Karume K., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Protestant Service for Development (Bfdw) for financial support. Also, we are very grateful for the material support of the Natural Science Research Center / Lwiro and all the technicians who accompanied us on the field and in the laboratory.

## Article history:

Received: 15 July 2019. Accepted: 19 September 2019

## For citation:

Bisusa M, Bagalwa M, Zirirane DN, Mushagalusa N, Karume K. Biocidal activity of the extracts of *Vernonia amygdalina* against ticks responsible for livestock diseases. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4):481—491. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-481-491

## Introduction

Ticks are ectoparasites that directly affect animal production and are responsible for the transmission of several diseases such as Babesiosis, Theiosis, Anaplasmosis [1]. They are also vectors of serious parasitic or viral diseases such as the various rickettsioses of domestic animals or humans. These diseases represent a real obstacle to livestock development in endemic areas [1]. Ticks, because of the many infectious diseases that they transmit to animals and the trauma caused by their bites, constitute a real obstacle to the promotion and the profitability of the breeding. These diseases are responsible for more than 63% of animal mortality in several countries [1]. Indeed, if the morbidity rate is only 15 to 20% and the mortality rate of 5 to 10% in the traditional or native cattle, it is not the same for the cattle of exotic origin, introduced into enzootic zone. In these animals, the morbidity rate is higher in the order of 30 to 95% and the case fatality rate can reach 100% in unstable enzootic status [1, 2].

In Central and Eastern Africa, the tick distribution of *Rhipicephalus appendiculatus*, *Haemaphysalis leachi*, *Boophilis decoloratus* and *Ambliyomma* brings about the outbreak of various livestock diseases such as anaplasmosis, babesiosis and bovine theileriosis [3]. In the Democratic Republic of Congo (DRC), several cattle sectors are affected by anaplasmosis, babesiosis and theileriosis. In South Kivu cattle breeding has been around for a long time. It is one of the major concerns for the population in rural areas in general and particularly in the Bushi Mountains [4]. In this region, several parasitic diseases hinder the promotion of animal husbandry, including sometimes preventing the potential improvement of the local breed of cattle by crossing exotic breed of brood stock which, unfortunately, are very sensitive to these diseases. Faced with this menace, various wherewithal of control has been applied with mixed success, including those using acaricides. Indeed, the fight against ticks uses mainly synthetic chemicals but it is currently facing the problems of cost, efficiency, environmental pollution and use. It remains difficult to apply in our region of study given the poor income of breeders, the difficult accessibility to products and ignorance of application techniques. A better control strategy should therefore take these parameters into account. Thus, in order to find a solution to the problems of livestock in South Kivu and in Bugorhe, Irhambi/Katana sub-counties in particular, a study of acaricide effect of the plant *Vernonia amygdalina* on ectoparasite cattle ticks *Rhipicephalus appendiculatus* Neumann was conducted in vitro to determine the fatal and recommendable dose.

**Study areas.** Irhambi/Katana and Bugorhe Sub-Counties are located between 2°15' and 2°30' S and between 28°48' and 28°85'E, on the Eastern flanks of the Kahuzi-Biega massif in South-Kivu, in the Democratic Republic of Congo where the samples were collected. Several species of ticks are found in these Sub-Counties: *Amblyoma variegatum*, *Haemaphysalis leachi*, *Rhipicephalus appendiculatus* and *Boophilis decoloratus* [2, 5]. Among these different species of ticks, *Rhipicephalus appendiculatus* is the vector of the *Theileria parva*, causal agent of theileriosis, *Boophilis decoloratus* is the basis of *Babesia bovis*, *Babesia bigemina*, causative agent of Babesiosis and *Anaplasma marginale* causative agent of East Coast fever.

### Materials and methods

**Plants sampling and preparation.** Samples of *Vernonia amygdalina* were collected in Lwiro, South Kivu Province, Democratic Republic of Congo in July 2016. The plant was identified at the Botany Laboratory of Natural Science Research Center of Lwiro in comparison with the specimens of the herbarium. The leaves were sun dried in the open air and then pounded in a mortar to obtain a fine powder. Organic and aqueous extracts were prepared according to conventional methods by maceration, techniques most frequently used by breeders. A sample of 30 g of vegetable powder is macerated in deionized water and another sample of 30 g in a hydro-alcoholic mixture (ethanol/water 70/30: V / V) for 24 hours. The aqueous and hydro-alcoholic (organic) extracts are separately evaporated under vacuum at a temperature of 40 °C. The residues obtained in the two extracts are dissolved in deionized water to prepare the different concentrations. A phytochemical screening was carried out on the aqueous and organic extracts following the procedures proposed by Sofowora [6]. The alkaloids were detected by the Drangedorff and Wagner reagents, the saponins were detected by the persistence of the foam after stirring, the terpenoids were detected by Lieberman Buchard and Hirschson reagents; steroids — by Lieberman-Buchard reagents and flavonoids — by the reagents of Dechene, Murthi and Briggs [6, 7]. The results were noted as follows: (+) reaction in trace or weakly positive; (++) positive reaction; (+++) strongly positive reaction.

**Harvesting ticks.** The tick harvest was carried out as described by Pamo and his collaborators [8]. Ticks were identified in the laboratory following the keys of Walker and his collaborators [9] and only *Rhipicephalus appendiculatus* was selected for this study.

**Preparation of different doses for bioassays.** After several preliminary tests, the doses were chosen such that each concentration was twice the previous or the 1/10<sup>th</sup> and five dilutions (1.25; 2.5; 5; 10; 20 g/mL) were prepared. After homogenization, using a syringe, each of the solutions thus prepared was uniformly spread over a Whatman N°1 filter paper washer placed in a petri dish where the ticks were deposited in these suspensions for 2 minutes. The ticks were removed and put in observation tubes for 4 days. Every 24 hours, a tick count was carried out until the fourth day. One test consisted of deionized water alone and another one of Bayticol Miticide as a control dose.

**Toxicity study by contact of extracts.** The evaluation tests of the toxicity by contact of the extracts were carried out by depositing in the previously prepared petri dishes,

15 ticks were selected for the bioassays. Three repetitions were performed for each dose. The number of dead ticks was counted every 24 hours during the 4 days of each trial and the mortality rate was calculated using the Abbott formula [10].

$$M_c = \frac{M_o - M_e}{100 - M_e} \times 100,$$

where  $M_o$  = mortality recorded in treated lots (%);  $M_e$  = mortality recorded in controls (%);  $M_c$  = corrected mortality (%).

**Data analysis.** The data obtained were subjected to analysis of variance after correction of the observed mortalities compared to those of the controls and the differences between the extracts. Regression of the dose logarithm of mortality was used to determine the  $DL_{50}$ .

### Results and discussion

The biocidal activity of *Vernonia amygdalina* on the tick population *Rhipicephalus appendiculatus* was evaluated in the laboratory by controlling tick mortality according to the extracts but also the controls used (deionized water and Batycol Miticide). The results of in vitro tests of the aqueous and organic extracts of the plant *Vernonia amygdalina* against the tick species *Rhipicephalus appendiculatus* are presented in Table 1.

Table 1

**Effect of extracts of *Vernonia amygdalina* on *Rhipicephalus appendiculatus* as a function of time**

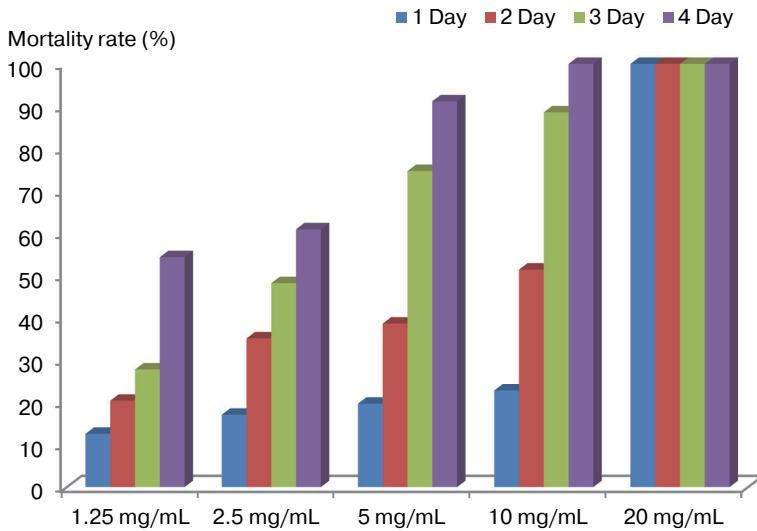
Exposure time in days	Plant material	Control used water	Control used Bayticol®	1.25 mg/mL	2.5 mg/mL	5 mg/mL	10 mg/mL	20 g/mL
1	Aqueous extract	5.6±0.1	100±0.0	12.5±9.7	17.0±3.1	19.6±7.1	22.7±0.0	100±0.0
	Organic extract	5.6±0.1	100±0.0	43.5±1.5	37.5±0.0	27.2±0.0	15±0.0	4.7±0.0
2	Aqueous extract	13.9±2.4	100±0.0	7.8±1.4	18.2±2.1	19.1±9.4	28.9±12.0	0.0±0.0
	Organic extract	13.9±2.4	100±0.0	0.0±0.0	3.0±10.0	42.8±0.0	19.5±8.8	22.5±2.5
3	Aqueous extract	23.8±15.8	100.0±0.0	7.6±10.2	13.0±11.3	35.9±16.0	37.0±18.5	0.0±0.0
	Organic extract	23.8±15.8	100.0±0.0	4.5±4.5	5.3±1.6	28.0±15.5	65.5±15.8	73.0±16.4
4	Aqueous extract	29.8±11.9	100±0.0	26.6±18.8	12.8±10.4	16.6±12.2	11.4±2.5	0.0±0.0
	Organic extract	29.8±11.9	100.0±0.0	9.5±0.4	36.6±6.6	2.0±1.8	0.0±0.0	0.0±0.0

Generally, the mortality increases with the increasing concentration in the aqueous extracts and in the organic extracts according to the days. High concentrations cause high tick mortality. At the concentration of 20 mg/l, the aqueous extracts caused a mortality rate of 100% while the ticks showed resistance in the first two days to organic extracts. For the positive control, the “Batycol”, 100% of the tick mortality rate was observed at the concentration used by farmers for the treatment of grazing animals. While the negative control showed a low rate of about 5% on the first day of counting.

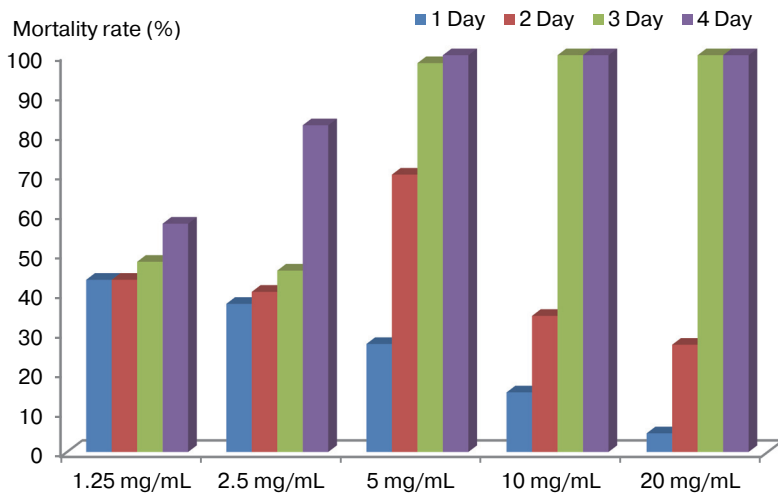
Increasing the exposure period decreases the overall mortality rate in both extracts (aqueous and organic). Table 1 shows that after exposure of ticks to extracts, the mortality rate fluctuated with the concentrations.

Mortality rate averages and their standard deviation show differences depending on the concentration of the products used. It is observed that the cumulative mortality percentages of ticks change according to the extracts (Figure 1 and 2).

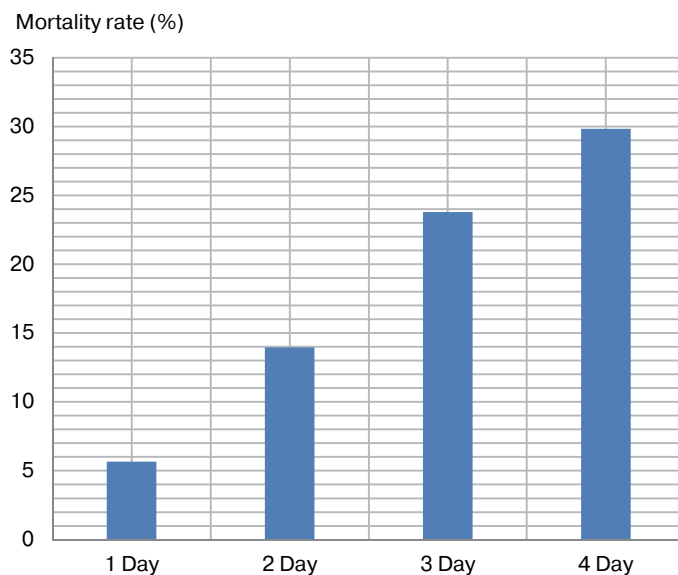
For aqueous extracts, 100% mortality rate was observed at 20 mg/mL concentration for the 3 days of tick observation. The mortality rate rises 100% on the fourth day for the concentration of 10 mg/mL.



**Fig. 1.** Cumulative mortality rates of aqueous extracts based on days of exposure



**Fig. 2.** Cumulative mortalities of ethanolic extracts by days of exposure



**Fig. 3.** Mortality rate in the control (water) as a function of days of exposure

There are significant differences between the cumulative daily mortality rates as a function of the concentrations ( $p < 0.05$ ) with an increase in the mortality rate at the end of the fourth day of observation in aqueous extract. But, for ethanol extracts, 100% mortality rate was recorded on the third day at the concentration of 10 mg/mL and on the fourth day at the concentration of 5 mg/mL.

The mortality rate of ticks *Rhipicephalus appendiculatus* (Figure 3) brought into contact with water as a control is low and varies with exposure time.

The mortality rate of ticks in the control was less at the fourth day of exposition. It was less than 30% as reported by other authors [11, 12]. This low rate would probably be due to the manner in which the ticks were harvested (uprooting) from the animals, they would have been traumatized and some would have been injured.

For the positive control, we used Bayticol which showed 100% mortality for the concentration diluted to 1% used in the treatment of livestock in veterinary medicine. As this product is synthetic, it kills ticks directly after contact. This observation was also made for ticks treated with a concentration of 20 mg/mL aqueous extracts. Although Bayticol is used in livestock treatment in South Kivu, ticks continue to cause significant livestock damage due to the lack of access to this product by most herders. Experimentation with extracts of *Vernonia amygdalina* in the laboratory shows a cumulative mortality rate of ticks which varies with the concentration of the extracts and decreases with the time of experimentation. The aqueous extracts show a gradual decrease in mortality as the ethanolic extracts. This would be due to the dissolution of the substances responsible for this insecticidal activity. Indeed, despite their low efficacy on ticks *Rhipicephalus appendiculatus*, these extracts were able to generate a mortality rate that exceeds that of the negative controls (water) after 4 days.

In the aqueous extracts, the variation in the percentages of mortality decreases as a function of the concentration of the products. Organic extracts varied also with concen-

tration of the extracts tested as a function of time. This is due to the active acaricide substances responsible for the activity found in the plant *Vernonia amygdalina* [6]. These crude extracts of the aqueous phase of this plant *Vernonia amygdalina* which have shown an acaricidal activity, should be separated to isolate and concentrate the active substances which, certainly, could have much lower lethal concentrations and should be able to be promoted as an alternative acaricidal substances in a region devastated by repetitive wars and cut off imports of acaricide products. This plant would be a palliative solution insofar as it is accessible to the population. Indeed, active substances responsible for this activity is more soluble in water than in ethanol; which shows that the aqueous extracts are more active than the organic extracts based on ethanol that was used in the acaricide activity test of this plant. Determination of  $DL_{50}$  concentration versus the logarithmic dose of the aqueous extracts for the first day of exposure yielded the following regression equation:

$$Y = 18.07 X - 19.85 (R^2 = 0.77).$$

$DL_{50}$  calculated from this equation is 15.44 mg/mL for the aqueous extracts of *Vernonia amygdalina*. For ethanolic extracts, the mortality rate varies for the first day of contact; it normalizes on the third day.

This would probably due to the amount of active substances soluble in these ethanolic extracts. The phytochemical screening (Table 2) of this plant shows that it contains more phenol, tannins, flavonoids, saponins and glycosides.

But also in the extracts, alkaloids and quinone which are known acaricides are present as found Chifundera and his collaborators [7]. This plant is used for different medicinal treatments because it contains several chemical substances that act differently [13]. Indeed, since plant extracts are composed of several compounds with a multiple action mechanism, they simultaneously solicit several physiological defense mechanisms as opposed to specific pesticides that may have only one molecular target.

Results of variance analysis of concentration-corrected daily mortality data from plant extracts *Vernonia amygdalina* showed significant differences between concentrations ( $p < 0.05$ ) and extracts (aqueous and organic). This has also been observed in other tick studies [7, 14, 15] *Vernonia amygdalina* is a medicinal plant that contains other substances such as carvanol, flavonol, tymol that may be responsible for the insecticidal activity observed in some trials [13, 16]. Some substances endowed with biological activity have been isolated from the plant *Vernonia amygdalina* and would probably be the cause of the mite effect. Of these substances, Vernodalin and Vernosioside are known to have insecticidal, bacterial and anthelmintic activity [13]. It has been shown in previous studies that the activity of some plants may be due to the action of the 3, 4, and 7-trihydroxy-3-methoxy-7-glucoside flavone enzyme as in the plant *Deverra*

Table 2

**Phytochemical Screening Results**

Substances	<i>Vernonia amygdalina</i>
Saponines	+++
Alkaloids	++
Glucosides	+++
Flavonoids	+++
Tannins	+++
Lipids and lipoids	+
Steroids	+
Terpenoids	+
Phenols	+++
Quinone	++

Legend: + Test slightly positive  
 ++ Positive test  
 +++ Strongly positive test

*scoparia*. This enzyme has been found to inhibit the carboxylesterase responsible for resistance observed in animals [17]. Thus, natural plant extracts can be the tools of choice in pest resistance management programs for pesticides such as Thiodan, Dithane, Dichloro diphenyl Trichloro Ethane.

Indeed, the use of extracts of acaricide plants in the laboratory using the direct contact method is very effective at high concentrations (10 mg/mL). The results of this study show that the application of aqueous extracts is one of the methods to be used in the fight against cattle ticks. Indeed, natural insecticides are easily available and cost nothing for their preparation. In addition, they are not toxic to curative doses in humans and degrade rapidly in the environment [18].

The success of plant extracts in the fight against *Rhipicephalus appendiculatus* is certainly due to the fact that they combine certain advantages such as great protection for the environment while offering the possibility of being used in the manner of a chemical insecticide.

According to studies by Chiasson and Beloin [19], no case of resistance to plant extracts has been found. Thus, the use of *Vernonia amygdalina* in the fight against ticks is very interesting means control as this plant has already been used by breeders without knowing the lethal concentrations. Some other plants are used by breeders in other countries such as in Benin and has been proved their potential effect on ticks [20—22]. Plant extracts are made up of several chemical substances with different multiple action mechanisms; these directly result in several defense mechanisms of the target species, unlike synthetic pesticides with only one active molecule. This advantage of plant extracts allows us to consider that after thorough studies, the use of these natural extracts in the fight against ticks would be a path of integrated pest management solution.

## Conclusion

This work confirms the potential of *Vernonia amygdalina* against ticks *Rhipicephalus appendiculatus* in the laboratory. The results of this study show that the aqueous and organic extracts of the leaves of this plant are toxic for ticks *Rhipicephalus (Boophilis) appendiculatus*. The percentage of mortality increases with the increase in the concentration of extracts and decreases with the exposure time. These results encourage us to carry out a study of the activity of these extracts for the treatment of ticks in livestock farming, especially in villages where access to synthetic products is a problem. The effective substances present in the extracts should first be identified for isolation and subsequent testing. It will thus be possible to develop preparations that can have acaricidal effects. This would allow for an integrated pest control program to effectively control ticks that target livestock. *Vernonia amygdalina* is a common plant in the region; its use by breeders would be less expensive, effective, having low environmental impact and would contribute to the fight against cattle diseases transmitted by ticks.

## References

1. Gitau GK, Perry BD, McDermont JJ. The incidence, morbidity and mortality due to *Theileria parva* infections in smallholder dairy farms in Muranga District, Kenya. *Prev Vet Med.* 1999; 39(1):65—79. doi: 10.1016/S0167-5877(98)00137-8



2. Sika FK, Masunga M, Wabo B. Recherche sur les tiques et les maladies qu'elles transmettent au bétail dans le Kivu d'altitude. Document de travail, CRSN-LWIRO, 1986. 36p.
3. Makumyaviri AM, Habimana M. Prévalence de la theilériose bovine à Theileriaparvasur les plateaux d'Itombwe, Centre Est Zaïre. *Revue Méd Vét.* 1993. 144(5):415—418.
4. Bagalwa M, Masunga M, Balagizi K, Ntumba K. Epidémiologie des maladies gastro-intestinales du bétail et inventaire des mollusques dans les hauts Plateaux d'Uvira, Est du Zaïre. *Tropicultura.* 1996; 14(4):129—133.
5. Bisusa M, Amzati S, Bagalwa M. Distribution altitudinale actuelle des tiques (Acarina-Ixodidae) chez les bovins élevés dans les groupements de Bugorhe et Irhambi-Katana en territoire de Kabare, Sud-Kivu, RDC. *Annales de l'UEA, Numéro spécial sur l'environnement.* 2014; 69—80.
6. Sofowora A. *Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique.* Paris: Karthala; 1996.
7. Chifundera K, Baluku B, Mashimango B. Phytochemical screening and molluscicidal potency of some Zairian medicinal plants. *Pharmacological Research.* 1993; 28(4):333—340. doi: 10.1006/phrs.1993.1135
8. Pamo ET, Tapondjou LA, Tendonkeng F, Nzogang JF, Djoukeng J, Ngandeu F, Kana JR. Effet des huiles essentielles des feuilles et des extrémités fleuries de *Cupressus lusitanica* sur la tique (*Rhipicephalus lunulatus*) à L'ouest-Cameroun. *Journal of the Cameroon Academy of Sciences.* 2003; 3(3):169—175.
9. Walker JB, Keirans JE, Horak IG. *The genus Rhipicephalus (Acari, Ixodidae): A guide to the brown ticks of the world.* London: Cambridge University Press; 2002.
10. Kabarou JM, Gichia L. Insecticidal activity of extracts derived from different parts of the mangrove tree *Rhizophora mucronata* (Rhizophoraceae) LAM against three arthropods. *African Journal of Science and Technology.* 2001; 2(2):44—49. doi: 10.4314/ajst.v2i2.44668
11. Busvine JR. *A critical review of the techniques for testing insecticides.* 2nd ed. England: Commonwealth Agricultural Bureau; 1971.
12. Erasto P, Grierson DS, Afoloyan AJ. Bioactive sesquiterpene lactone from the leaves of *Vernonia amygdalina*. *Journal of Ethnopharmacology.* 2006; 106(1):117—120. doi: 10.1016/j.jep.2005.12.016
13. Attia S, Grissa KL, Ghrabi-Gammar Z, Mailleux AC, Lognay G, Le Goff G, Hance T. Contrôle de *Tetranychusurticae* par les extraits de plantes en vergers d'agrumes. *Entomologie faunistique — Faunistic Entomology.* 2011; 63(4):229—235.
14. Hanifah AL, Awang SH, Ming HT, Abidin SZ, Omar MH. Acaricidal activity of *Cymbopogon citrates* and *Azadirachta indica* against house dust mites. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine.* 2011; 1(5):365—369. doi: 10.1016/S2221-1691(11)60081-6
15. Basabose K, Bagalwa M, Chifundera K. Anophelinocidal activity of volatile oil from *Tagetes minuta* L. (Asteraceae). *Tropicultura.* 1997; 15(1):8—9.
16. Djeridane A, Brunel JM, Vidal N, Yousfi M, Ajandouz EH, Stocker P. Inhibition of porcine liver carboxylesterase by a new flavones glucoside isolated from *Deverr ascoparia*. *Chemico-Biological Interactions.* 2008; 172(1):22—26. doi: 10.1016/j.cbi.2007.11.008
17. Marna LC, Gikaru G, Ajayi F. Les avantages des pesticides naturels. *Agriculteurs Africains.* 1990. 158 p.
18. Chiasson H, Beloin N. Les huiles essentielles, des biopesticides “Nouveau genre”. *Bulletin de la Société d'Entomologie du Québec Antennae.* 2007; 14(1):3—6.
19. Adjou ES, Soumanou MM. Efficacité des extraits de plantes dans la lutte contre les moisissures toxigènes isolées de l'arachide en post-récolte au Bénin. *J Appl Biosci.* 2013; 70:5555—5566. doi: 10.4314/jab.v70i1.98755
20. Adehan SB, Biguezoton A, Adakal H, Dossa F, Dougnon TJ, Youssao E, Sessou P, Aboh AB, Youssao AKI, Assogba N, Mensah GA, Madder M, Farougou S. Acaricidal activity of ethanolic and volatile extracts of the leaves of selected plants used in Veterinary Pharmacopeia on the larvae of *Rhipicephalus microplus* in Benin. *Alex J Vet Sci.* 2016; 49(1):1—11. doi: 10.5455/ajvs.216241

#### About authors:

*Bisusa Muhimuzi* — Researcher in Environmental Sciences, Head of Veterinary Entomology Laboratory, Research Associate, Department of Biology, Research Center in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S. Bukavu, Democratic Republic of Congo; e-mail: bisusamuhimuzi@gmail.com

*Bagalwa Mashimango* — PhD at Makerere University, Head of the Malaria Laboratory, Researcher, NSRF, Research Center in Natural Sciences, CRSN-Lwiro; Research Associate, Evangelical University in Africa, Faculty of Agronomy and Environment, D.S. Bukavu, Democratic Republic of Congo; e-mail: mashibagalwa@gmail.com

*Zirirane N. Dieudonné* — Master's degree in Environment, Faculty of Agronomy, Evangelical University in Africa, B.P. 3323 Bukavu, Democratic Republic of Congo; e-mail: didozirirane@gmail.com

*Mushagalusa Nachigera* — PhD, Faculty of Agronomy, Evangelical University in Africa, B.P. 3323 Bukavu, Democratic Republic of Congo; Higher Institute of Rural Development, Bukavu, Democratic Republic of Congo; e-mail: mushagalusa2007@yahoo.fr

*Karume Katcho* — PhD, Goma Volcanic Observatory, Department of Geochemistry and Environment, Goma, Democratic Republic of Congo; Ordinary Professor, Dean of Agronomy Faculty, Evangelical University in Africa, B.P. 3323 Bukavu, Democratic Republic of Congo; e-mail: kkatcho@yahoo.com

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-481-491

Научная статья

## Биоцидная активность экстрактов *Vernonia amygdalina* против клещей, вызывающих болезни скота

М. Бисуса<sup>1\*</sup>, М. Бгаруа<sup>1, 2</sup>, Н. Зириране<sup>2</sup>,  
Н.Ж. Мушагаруса<sup>2, 3</sup>, К. Каруме<sup>4, 2</sup>

<sup>1</sup>Центр естественных наук, Лвиро, Букаву,  
Демократическая Республика Конго

<sup>2</sup>Евангелический университет в Африке,  
Букаву, Демократическая Республика Конго

<sup>3</sup>Высший институт развития сельских районов,  
Букаву, Демократическая Республика Конго

<sup>4</sup>Вулканологическая обсерватория Гома,  
Гома, Северная Киву, Демократическая Республика Конго

\*bisusamuhimuzi@gmail.com

**Аннотация.** Биоцидную активность *Vernonia amygdalina* оценивали на клещах *Rhipicephalus appendiculatus*, ответственных за заболевания скота в северных и южных провинциях Киву. Испытания в пробирке проводились в лаборатории Научно-исследовательского центра Лвиро, чтобы определить смертельную дозу для разных сроков после контакта клещей с экстрактами. Были оценены пять различных доз 1,25, 2,5, 5, 10, 20 г/мл. Вода рассматривалась как положительный, а Батикол — отрицательный контроль. Фитохимическая обработка экстрактов растения *Vernonia amygdalina* показывает, что это растение содержит несколько веществ, ответственных за акарицидную активность, в основном сапонины, терпеноиды, стероиды и дубильные вещества. Эксперимент показывает уровень смертности, который зависит от концентрации экстрактов (наиболее фатальна 20 г/мл)

и уменьшается со временем воздействия. Водные экстракты показали прогрессивное снижение смертности по сравнению с этанольными экстрактами. Это связано с растворением веществ, ответственных за инсектицидную активность. В исследовании рекомендуется применение в борьбе с клещами крупного рогатого скота водных экстрактов *Vernonia amygdalina*, природного инсектицида, доступного и легко приготавливаемого, не токсичного для человека и быстро разлагающегося в окружающей среде.

**Ключевые слова:** биоцидный, *Rhipicephalus appendiculatus*, *Vernonia amygdalina*, водный экстракт, этанольный экстракт

#### **Благодарности:**

Авторы благодарны Protestant Service for Development (Bfdw) за оказанную финансовую поддержку. Кроме того, выражаем свою благодарность Исследовательскому центру естествознания (Natural Science Research Center/Lwiro) за материальную поддержку и предоставление специалистов, оказавших помощь на поле и в лаборатории.

#### **История статьи:**

Поступила в редакцию: 10 июля 2019 г. Принята к публикации: 7 августа 2019 г.

#### **Для цитирования:**

*Bisusa M., Bagalwa M., Zirirane D.N., Mushagalusa N., Karume K.* Biocidal activity of the extracts of *Vernonia amygdalina* against ticks responsible for livestock diseases // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 481—491. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-481-491

#### **Об авторах:**

*Бисуса Мухимузи* — научный сотрудник (науки об окружающей среде), руководитель лаборатории ветеринарной энтомологии, кафедра биологии, Центр естественных наук, Лвиро, Букаву, Демократическая Республика Конго; e-mail: bisusamuhimuzi@gmail.com

*Бгаруа Машиманго* — доктор философии (Университет Макерере), руководитель лаборатории малярии, научный сотрудник, Центр естественных наук, Лвиро; Евангелический университет в Африке, Букаву, Демократическая Республика Конго; e-mail: mashibalwa@gmail.com

*Зириране Н. Дьедонне* — магистр экологии, агрономический факультет, Евангелический университет в Африке, Демократическая Республика Конго, Б.П. 3323 Букаву, e-mail: didozirirane@gmail.com

*Мушагалуса Начигера* — доктор философии, Высший институт развития сельских районов; агрономический факультет, Евангелический университет в Африке, Демократическая Республика Конго, Б.П. 3323 Букаву, e-mail: mushagalusa2007@yahoo.fr

*Каруме Катчо* — доктор философии, Вулканическая обсерватория Гома, кафедра геохимии и окружающей среды, Гома; профессор, декан факультета агрономии, Евангелический университет в Африке, Демократическая Республика Конго, Б.П. 3323 Букаву; e-mail: kkatcho@yahoo.com

## Ветеринарно-санитарная экспертиза Veterinary sanitary inspection

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-492-510

Научная статья / Research article

### Veterinary-sanitary inspection of cattle meat affected with benign tumor

Ivan G. Seregin<sup>1</sup>, Evgeniya S. Baranovich<sup>1</sup>,  
Vladimir E. Nikitchenko<sup>2\*</sup>, Dmitry V. Nikitchenko<sup>3</sup>,  
Ekaterina O. Rystsova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
*Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University),  
*Moscow, Russian Federation*

<sup>3</sup>Ostankino Meat Processing Plant, *Moscow, Russian Federation*

\*Corresponding author: [v.e.nikitchenko@mail.ru](mailto:v.e.nikitchenko@mail.ru)

**Abstract.** The rate of benign tumor detection in slaughtered cattle was studied. Tumor pathology was detected on average in 0.04% of the studied livestock. Manifestations of various new growths in this animal species have specific features. Tumors are detected 2–3 times more often in cows and bulls than in young animals. The veterinary and sanitary characteristics of cattle meat affected with benign tumors were compared with those of animal meat without tumors. Affected meat had deviations in physical properties, chemical composition of meat affected with tumors, content of primary protein breakdown products, volatile fatty acids (+0.05 mg/KOH) and amino-ammonium nitrogen (+0.54 mg/%) compared with meat of healthy cattle. It was revealed that the samples of meat affected with tumors were highly contaminated with microorganisms ( $0.28...0.80 \times 10^2$ ), including coliforms and *St. aureus*. Pathogenic bacteria of the genera *Salmonella*, *L. monocytogenes*, *Cl. perfringens* etc. were not detected in the test samples. In meat affected with tumors, relative bioavailability decreased by 4.99...13.87% and safety — by 5.89...13.89% as compared to meat of healthy cattle. Based on the data obtained, proposals were developed on the most rational and safe use of meat from animals affected by benign tumors for food and feed.

**Key words:** Cattle, meat, tumor, detection frequency, veterinary and sanitary inspection, physical and chemical characteristics, microbiological research

#### Article history:

Received: 17 October 2019. Accepted: 21 November 2019

© Серегин И.Г., Баранович Е.С., Никитченко В.Е., Никитченко Д.В., Рысцова Е.О., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**For citation:**

Seregin IG, Baranovich ES, Nikitchenko VE, Nikitchenko DV, Rystsova EO. Veterinary-sanitary inspection of cattle meat affected with benign tumor. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):492—510. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-492-510

## **Обоснования ветеринарно-санитарной оценки мяса крупного рогатого скота при доброкачественных опухолях**

**И.Г. Серегин<sup>1</sup>, Е.С. Баранович<sup>1</sup>, В.Е. Никитченко<sup>2\*</sup>,  
Д.В. Никитченко<sup>3</sup>, Е.О. Рысцова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет —  
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>ОАО Останкинский мясоперерабатывающий комбинат,  
Москва, Российская Федерация

\*v.e.nikitchenko@mail.ru

**Аннотация.** Изучена частота выявления доброкачественных опухолей у убойного крупного рогатого скота. Опухолевая патология выявляется в среднем у 0,04% исследуемого поголовья. Отмечены особенности проявления различных новообразований у данного вида животных. В тушах коров и быков опухоли выявляются в 2—3 раза чаще, чем у молодняка. Определены ветеринарно-санитарные показатели мяса крупного рогатого скота при выявлении доброкачественных опухолей в сравнении с показателями мяса животных без поражения опухолями. Обнаружены при опухолях отклонения в физико-химических свойствах и химическом составе мяса, а также в содержании продуктов первичного распада белков, летучих жирных кислот и аминокислот азота по сравнению с мясом здорового скота. В образцах мяса животных, пораженных опухолями, выявлена повышенная контаминация микроорганизмами ( $0,28...0,80 \times 10^2$ ), в т.ч. бактерии группы кишечных палочек и *St. aureus*. Патогенные бактерии рода Сальмонелла, *L. monocytogenes*, *Cl. perfringens* и др. в исследуемых образцах мяса не обнаружены. Отмечено снижение относительной биологической ценности на 4,99...13,87% и безвредности мяса животных, пораженных опухолями, на 5,89...13,89% по сравнению с мясом здорового скота. Полученные данные позволили разработать авторам предложения по использованию в пищевых и кормовых целях мяса животных, пораженных доброкачественными опухолями.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, мясо, опухоли, частота обнаружения, ветеринарно-санитарная экспертиза, физико-химические показатели, микробиологические исследования, ветеринарно-санитарная оценка

**История статьи:**

Поступила в редакцию: 17 октября 2019 г. Принята к публикации: 21 ноября 2019 г.

**Для цитирования:**

Серегин И.Г., Баранович Е.С., Никитченко В.Е., Никитченко Д.В., Рысцова Е.О. Обоснования ветеринарно-санитарной оценки мяса крупного рогатого скота при доброкачественных опухолях // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 492—510. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-492-510

## Introduction

Questions of benign and malignant neoplasms in animals are of great interest both from the general biological and medical, as well as from the veterinary points of view. According to several authors, benign and malignant tumors are found in different animal species. Tumors in domestic carnivores are detected in 0.7...1.4% of cases. According to literature data, tumors in slaughtered animals reveal 0.02...0.04% of the number of killed livestock [1—4].

The increased interest in the study of tumors is due to a noticeable increase in the frequency of their detection and economic losses in animal husbandry, which are associated with culling and slaughter of productive livestock in tumor diseases [5—8].

The study of the spread and frequency of detection of tumors in animals of different species is one of the important directions in research on the problem of cancer. The statistical data on the spread of tumor diseases in animals in different countries are quite contradictory. This is due to the fact that in some countries the diagnosis of tumors and registration of patients with tumors of animals is carried out more strictly, while in others this disease remains poorly understood and is not recorded [1, 9, 10].

Information about tumors in animals that live to an extreme age (dogs, cats, horses, cattle, etc.) more fully reflects actual state of the problem under consideration, while information about tumors in other animals which are prone to slaughter at a younger age (pigs, sheep, goats, rabbits) is limited. It is known that various neoplasms are more common in animals in the second half of their life, i.e. in adulthood and old age. The infection of such animals by tumors is about 0.08...0.21%. But more often fattening animals are sent to meat processing plants at a young age, in which tumors are diagnosed less often. This makes it difficult to make a correct conclusion about the incidence of tumors in various animals, especially young cattle, sheep, goats, and pigs [11, 12].

According to clinical signs and pathological anatomical picture, tumors in animals are divided into benign and malignant. This classification is of great importance in the veterinary-sanitary examination of carcasses and organs of sick animals. When examining the products of slaughter, it is taken into account that benign or mature tumors consist of cells similar to tissue cells in which they develop. They are surrounded by their own membrane and have a feature — central slow growth, while compressing the surrounding healthy tissues. Benign tumors can reach large sizes, while they do not have metastases and relapses. Benign tumors do not cause cachexia, except for tumors that violate patency in the gastrointestinal tract and in other pathways of various organs (bile duct, urinary tract). However, benign tumors, depending on their location, can also have a negative effect on affected organ and body as a whole.

Malignant tumors have a number of properties and pathological indicators that distinguish them from benign tumors. Malignant tumors grow much faster, without reaching large sizes and do not have a shell or a capsule. The histological picture of malignant tumors is significantly different from the tissue from which they develop. One of the characteristic signs of tumor tissue is anaplasia, i.e. return to a more primitive type. Malignant tumors are characterized by a characteristic growth, including ingrowth into healthy tissue, which leads to destruction of target cells. With such tumors, the body usually dies from cachexia and intoxication, which develop quite intensively. Malignant tumors are characterized by relapses and metastases [3, 13, 14].

The results of histological studies of organs and tissues of 11 357 patients with animal tumors conducted by T.P. Kudryavtseva [4] showed that neoplasms of various genesis in cattle are mainly represented by the following types of tumors: fibrosarcoma — 543 cases (31.4%), spindle cell sarcoma — 256 (15.2%), fibroma — 248 (12.4%), neurofibroma and neurosarcoma — 367 (31.0%), adenoma and adenosarcoma — 106 (6.1%), angioma — 58 (3.4%), cancer (oat cell, brain, etc.) — 45 (2.6%), adenocarcinoma (glandular cancer) — 72 (4.1%), myoma and myofibroma — 19 (1.1%).

Tumors in farm animals cause some economic damage, because productivity decreases, which leads to culling and sending animals to slaughter [15, 16]. At veterinary sanitary examination organs affected with tumors are removed. Uninfected parts of carcasses and organs, according to the Rules of Veterinary Sanitary Inspection, are sent for processing. With extensive tumor damage, the carcass and organs are sent to the scrap.

Considering that carcasses are used for food purposes in case of tumors after removing, the need arises to conduct a comparative analysis of the quality and safety of meat from healthy and tumor infected cattle. This served as the basis for the study of cattle meat affected by neoplasms in a comparative aspect with meat of healthy animals of the same age groups [17, 18].

### **Materials and methods**

The detection rate of benign tumors was determined in slaughterhouse during veterinary examination of cattle carcasses and organs.

Meat samples were taken in accordance with the requirements of the Rules of Veterinary Sanitary Meat Examination and GOST 7269—2015. Meat. Sampling methods and organoleptic methods for determining freshness.

Sensory assessment of meat was carried out on a 9-point scale developed by VNIIMP and according to GOST 9959—2015. Meat products. General conditions for organoleptic assessment.

Physico-chemical studies of meat were carried out according to GOST 23392—2016. Meat. Methods of chemical and microscopic analysis of freshness and in accordance with paragraph 13. 5 of Appendix 1 of the Rules of Veterinary Examination of meat and meat products (1988).

Microbiological studies of meat were performed according to GOST R 54354—2011. Meat and meat products. General requirements and methods of microbiological analysis.

Histological examinations were carried out according to GOST 31931—2012. Poultry meat. Methods of histological and microscopic analysis.

The relative biological value and harmlessness of meat was determined in experiments on *Tetrachimena pyriyormis* ciliates in accordance with the methodological recommendations [19, 20].

### **Results and discussion**

Examination of cattle carcasses and organs of different age groups showed that benign tumors were usually detected in slaughter products of adult and old animals. These data are given in table 1.

Table 1

**Benign Tumor Detection Rate**

Groups of animals	Number of carcasses examined	Results	
		Number of carcasses with identified tumors	Defeat, %
Calves	1 180	—	—
Young animals	122 440	3	0.02
Heifers	1 260	1	0.08
Cows	1 220	2	0.16
Bulls	780	1	0.13
Total	16 680	7	0.04

Table 2

**The results of organoleptic meat evaluation**

Groups of animals	Organoleptic characteristics of meat					
	Type and color	Smell	Consistency	Taste	Juiciness	Average
Calves	7.4	7.9	8.1	8.3	8.4	8.1
Young animals	7.9	8.3	8.3	8.5	8.5	8.3
Heifers	8.3	8.4	8.4	8.5	8.3	8.4
Cows	8.2	8.1	8.3	8.2	8.2	8.2
Bulls	8.1	7.6	8.4	8.1	8.0	8.1
Average	8.03	8.06	8.30	8.30	8.30	8.19
Control	8.4	8.3	8.4	8.4	8.4	8.4
Deviation	-0.37	-0.24	-0.1	-0.1	-0.1	-0.19

The data from table 1 indicate that in the study of 16,680 carcasses of slaughtered cattle of different age groups, 7 carcasses with benign tumors were detected, which was 0.04% of the examined number. Tumors were found on skin, in individual internal organs and on nerve fibers of carcass. When examining the products of calves slaughter, tumors were not detected. In young animals, tumors were detected in 0.02% carcasses, in heifers — 0.08%. Tumors were found 2—3 times more often in carcasses and organs of cows and bulls, and it amounted to 0.13...0.16%, which confirmed increase in cases of tumor pathology with increasing age of animals.

In cases of tumor detection, meat samples were taken and subjected to laboratory analysis. In the organoleptic evaluation of meat, all sensory research methods provided for by a 9-point scale were used. The data obtained are given in table 2.

The table 2 shows that cattle meat of different age groups affected with tumors received a score of 0.1...0.37% lower than meat of healthy animals. In general, such a deviation in all sensory indicators was about 0.99 points. The most pronounced deviations were identified when assessing the type, color and aroma of meat. These data allow to conclude that according to organoleptic indicators, meat of animals affected with benign tumors does not significantly differ from the meat of healthy cattle. This gives reason to use such meat under certain conditions for food purposes.

Physicochemical studies of meat were carried out on the day of the slaughter of animals. The results of a comparative analysis of meat of healthy and tumor-affected animals are given in table 3.



**Physico-chemical characteristics of cattle meat in tumors**

Indicators	Meat samples results					
	1	2	3	4	5	Control
pH	6.28 ± 0.04	6.26 ± 0.03	6.29 ± 0.05	6.27 ± 0.03	6.24 ± 0.05	6.02 ± 0.04
Peroxidase response	+	+	±	+	+	+
Reaction with CuSO <sub>4</sub>	-	-	±	-	-	-
Formalin Test	-	-	-	-	-	-
Amount of VFA, mg/KOH	2.52 ± 0.07	2.53 ± 0.01	2.59 ± 0.04	2.57 ± 0.02	2.51 ± 0.05	2.49 ± 0.02
Amount of AAA, mg/%	65.4 ± 0.71	65.8 ± 0.64	66.6 ± 0.74	64.3 ± 0.62	65.1 ± 0.63	64.9 ± 0.59
Fat acidity value, mg%	1.71 ± 0.14	1.89 ± 0.16	1.92 ± 0.18	1.78 ± 0.16	1.74 ± 0.11	1.72 ± 0.16

Table 3 shows that, according to the physicochemical properties, meat of animals in presence of benign tumors does not have pronounced differences compared to meat of healthy animals. For example, the pH value did not exceed the values of benign meat. The lowest pH was observed for samples No. 2 and 5 and amounted  $6.26 \pm 0.03$  and  $6.24 \pm 0.05$ , respectively. The highest pH was in samples No. 1 and 3 and amounted to  $6.28...6.29 \pm 0.05$ . The pH did not exceed  $6.02 \pm 0.04$  in meat of healthy animals.

Peroxidase reaction also showed that meat with benign tumors meets the requirements of regulatory documents; there is no intensive accumulation of microorganisms in it. In four of five samples, the reaction showed a positive result — the solution turned blue-green, which after a while turned brown. And only in sample No. 3, a dubious reaction was noted; the solution first remained transparent, then acquired a greenish color, which with a delay turned brown.

In the reaction of broth with a solution of copper sulfate, samples No. 1, 2, 4, 5 showed a negative result — in all cases the broth was transparent. In sample No. 3, the mixture became unclear, which indicates initial processes of protein breakdown in this meat sample.

The formalin reaction with all meat samples had a negative result, i.e. the solution in all tubes remained clear.

When detecting tumors, the amount of volatile fatty acids (VFA) in the studied meat samples was  $2.51...2.59$  mg/KOH, in the control samples it was  $2.49$  mg/KOH.

In the content of amino-ammonia nitrogen in meat with benign tumors, there were no regular deviations from the control.

Fat acidity value in tumor-affected meat was  $1.71...1.92$  mg%, and  $1.72$  mg% in meat of healthy cattle.

These data reveal that meat of diseased cattle has slight deviations from meat of healthy animals and can be used for further processing for various meat products.

The results of studying chemical composition in meat with benign tumors are given in table. 4.

Table 4

**Chemical composition of cattle meat affected with benign tumors**

Indicators	Meat samples					
	1	2	3	4	5	Control
Moisture	74.01 ± 0.19	74.06 ± 0.21	74.68 ± 0.07	74.29 ± 0.11	74.22 ± 0.20	74.14 ± 0.12
Protein	20.36 ± 0.05	20.66 ± 0.10	19.82 ± 0.02	20.32 ± 0.07	20.20 ± 0.03	20.57 ± 0.11
Fat	4.53 ± 0.01	4.68 ± 0.01	4.42 ± 0.02	4.29 ± 0.01	4.48 ± 0.02	4.52 ± 0.13
Ash	1.10 ± 0.02	1.00 ± 0.02	0.98 ± 0.02	1.10 ± 0.01	1.10 ± 0.01	1.00 ± 0.01

Table 5

**Microbiological parameters of meat affected with tumors**

Indicators, CFU/g	Meat samples					
	1	2	3	4	5	Control
TMC, CFU/g	0.55...0.70×10 <sup>2</sup> (0.62×10 <sup>2</sup> )	0.28...0.36×10 <sup>2</sup> (0.30×10 <sup>2</sup> )	0.74...0.80×10 <sup>2</sup> (0.77×10 <sup>2</sup> )	0.65...0.76×10 <sup>2</sup> (0.70×10 <sup>2</sup> )	0.54...0.57×10 <sup>2</sup> (0.56×10 <sup>2</sup> )	0.23...0.39×10 <sup>2</sup> (0.28×10 <sup>2</sup> )
Coliform bacteria	–	–	1	–	–	–
<i>Salmonella</i>	–	–	–	–	–	–
<i>St. aureus</i>	–	–	1	1	–	–
<i>L. monocytogenes</i>	–	–	–	–	–	–
<i>Cl. Perfringens</i>	–	–	–	–	–	–
Saprophytes	+	+	+	+	+	+

The data in table 4 indicate that the highest moisture content was in meat sample No. 3 (74.68%). Samples No. 1, 2, 4, 5 showed approximately the same values for this indicator (74.01, 74.06, 74.22, 74.22%, respectively). The moisture content in the control meat samples did not exceed 74.14%.

The protein content was approximately at the same level in all samples and amounted to 19.82...20.36. Moreover, deviations in the tumor-affected meat indices did not exceed 0.54% as compared with the control.

The fat content in meat of all samples was also almost the same. A lower fat content was observed in all meat samples (4.29...4.78%) compared with meat of healthy cattle (4.52%).

For the ash content, the studied meat samples had no significant differences. Deviations in the content of ash elements were not more than 0.01...0.02%.

Analyzing the data, we can conclude that meat of cattle affected with benign tumors is not significantly different in chemical composition from the control, therefore, it can be used for food purposes.

The results of comparative microbiological study of meat are given in the table 5.

The data from Table 5 shows that the total microbial number (TMC, CFU/g) in all meat samples did not exceed the upper limits indicated in SanPiN 2.3.2. 1078—01, and amounted to no more than 28—80 microbial cells in 1 g or 0.28 ... 0.80 × 10<sup>2</sup> TMC, CFU/g. The highest microbial contamination rate was found in muscles of samples No. 3 and 4 (0.80 × 10<sup>2</sup>, 0.76 × 10<sup>2</sup>, respectively). Saprophytic microorganisms were detected in all the variants, but *St. aureus* was only in two meat samples; cells of coliform bacteria were detected in muscle tissue of sample No. 3. Such pathogens as *Salmonella*, *Cl. perfringens* and *Listeria monocytogenes* were not detected in the studied meat samples. Only

saprophytic microorganisms in the amount of  $0.23...0.28 \times 10^2$  TMC, CFU/g were detected in control meat samples. Conducted microbiological studies indicate that all five meat samples had bacterial contamination that did not exceed the requirements of regulatory documents. However, some meat samples contained opportunistic pathogenic microflora, including coliform bacteria cells and *Staphylococcus aureus*. The presence of opportunistic pathogenic microorganisms in meat requires limiting its implementation in case of tumor damage. Such meat must be sent for industrial processing with thermal disinfection, ensuring death of coliform and *Staphylococcus* bacteria, or sent to production of sausages and canned food.

For the scientific substantiation of the veterinary-sanitary inspection of cattle meat affected with benign tumors, we conducted additional studies on *Tetrachimena puri-yormis* ciliates. Therefore, we determined the relative biological value of meat and its harmlessness. The results of the study are given in table 6.

Table 6

**Relative biological value and harmlessness of tumor-affected meat**

Sample	RBV of meat, %	Meat indicators				
		Number of ciliates in 1 ml	Mobility of ciliates	Shape of ciliates	Deviations from the control	% of control
1	89.06	$41.17 \times 10^4$	Kept	Kept	$-4.51 \times 10^4$	90.08
2	95.01	$43.01 \times 10^4$	Kept	Kept	$-2.67 \times 10^4$	94.11
3	86.13	$39.67 \times 10^4$	Kept	Kept	$-6.01 \times 10^4$	86.11
4	90.09	$41.62 \times 10^4$	Kept	Kept	$-4.06 \times 10^4$	91.09
5	92.38	$42.86 \times 10^4$	Kept	Kept	$-2.82 \times 10^4$	93.82
Control	100.00	$45.68 \times 10^4$	Active	Kept	—	100.0

The experiments showed that in the nutrient medium with extract from fresh beef meat of sick animals, the intensity of infusoria cell accumulation was different and tended to decrease compared to the meat of control animals. The accumulation of infusoria in 1 ml of culture medium containing meat from animals affected by tumors decreased by  $2.67 \times 10^4...6.01 \times 10^4$  cells of protozoa (5.89...13.89%) compared to meat of healthy cattle. At the same time, cell shape and mobility were preserved and did not have significant differences from the control.

Total biological value of cattle meat affected with tumors was 4.99...13.87% lower compared to meat of healthy animals.

These data indicate that relative biological value of cattle meat with benign tumors is lower by 4.99...13.87%, and safety is lower by 5.89...13.89% compared to meat of healthy cattle.

### Conclusions

Analyzing the results of our studies and considering current data on tumor pathology in farm animals, we can conclude that tumors in animals have a certain distribution. Identified benign tumors are diverse in pathogenesis, shape and structure, but they are similar in clinical manifestation and effect on the animal's body.

Neoplasms in animals are still poorly studied, they constitute a special group of diseases and are of great importance for the veterinary-sanitary meat inspection and

offal of slaughtered livestock. Benign neoplasms are found in cattle in 0.02...0.16% of cases from the number of practically killed livestock. In this case, the calves have no tumors. Nevertheless, since the true causes of tumors are still unexplored and scientific substantiation of veterinary evaluation of animal meat affected by tumors has not yet been developed, the need arises to determine the safest and most rational use of such meat for food purposes. However, consuming meat affected with tumors, we cannot assume what effect it has on the human body. Therefore, when tumors are found, carcasses and offal must be cleaned, unaffected parts and organs should be sent not for free sale, but for processing, followed by mandatory thermal disinfection. Such meat can be used for production of sausages, meat loaves or canned goods. In absence of such a possibility, after stripping, meat and offal should be sent to boil-down or to make jellied meat and jelly. Blood and endocrine raw materials for medical purposes are not collected. Skins must be processed and generally preserved by salting or brine. Feeding carnivorous pets with raw meat with tumors is not allowed, it should be utilized. Carcasses and offal having dystrophic changes in muscles and organs are sent to the scrap. When processing such meat, conditions of increased hygiene are created and personnel hygiene are more strictly observed.

### **Введение**

Вопросы доброкачественных и злокачественных новообразований у животных представляют большой интерес как с общебиологической и медицинской, так и с ветеринарной точек зрения. По данным ряда авторов, доброкачественные и злокачественные опухоли обнаруживаются у разных видов животных. Опухоли у домашних плотоядных выявляются в 0,7...1,4% случаях. По литературным данным опухоли у убойных животных выявляют в 0,02...0,04% от числа убитого поголовья [1—4].

Повышенный интерес к исследованиям опухолей обуславливается заметным повышением частоты их выявления и экономическим потерями в животноводстве, которые связаны с выбраковкой и убоем продуктивного скота при опухолевых болезнях [5—8].

Изучение распространения и частоты обнаружения опухолей у животных разных видов является одним из важных направлений в исследованиях по проблеме рака. Статистические данные о распространении опухолевых болезней у животных в разных странах достаточно противоречивы. Это связано с тем, что в одних странах диагностика опухолей и регистрация больных опухолями животных ведется более строго, а в других эта болезнь остается еще недостаточно изученной и не регистрируется [1, 9, 10].

Информация об опухолях у животных, которые доживают до предельного возраста (собаки, кошки, лошади, крупный рогатый скот (КРС) и др.) более полно отражает фактическое состояние рассматриваемой проблемы, тогда как сведения об опухолях у других животных, подверженных убою в более молодом возрасте (свиньи, овцы, козы, кролики), ограничены. Известно, что различные новообра-

зования чаще встречаются у животных во второй половине их жизни, т.е. в зрелом и старом возрасте. Поражение таких животных опухолями составляет около 0,08...0,21%. Но на мясокомбинаты отправляют чаще откормочных животных в молодом возрасте, у которых опухоли диагностируются реже. Это затрудняет выработку правильного заключения о заболеваемости опухолями различных животных, и прежде всего молодняка КРС, овец, коз, свиней [11, 12].

По клиническим признакам и патолого-анатомической картине опухоли у животных делят на доброкачественные и злокачественные. Такая классификация имеет большое значение при ветеринарно-санитарной экспертизе туш и органов больных животных. При осмотре продуктов убоя учитывается, что доброкачественные или зрелые опухоли состоят из клеток, похожих на клетки тканей, в которых они развиваются, окружены собственной оболочкой и имеют особенность — центральный замедленный рост, при этом, сдавливают окружающие здоровые ткани. Доброкачественные опухоли могут достигать больших размеров, при этом не имеют метастазы и рецидивы. Доброкачественные опухоли не вызывают кахексию, кроме опухолей, нарушающих проходимость в желудочно-кишечном тракте и в других проводящих путях разных органов (желчный проток, мочевыводящие пути). Однако доброкачественные опухоли, в зависимости от их локализации, тоже могут оказывать отрицательное влияние на пораженный орган и организм в целом.

Злокачественные опухоли имеют ряды свойств и патологоанатомические показатели, отличающие их от доброкачественных опухолей. Злокачественные опухоли растут значительно быстрее, не достигая при этом больших размеров и не имеют при этом оболочки или капсул. Гистологическая картина злокачественных опухолей значительно отличается от ткани, из которой они развиваются. Одним из характерных признаков опухолевой ткани является анаплазия, т.е. возврат в более примитивному типу. Злокачественные опухоли отличаются характерным ростом, в т.ч. врастанием в здоровую ткань, что приводит к разрушению клеток-мишеней. При таких опухолях организм обычно погибает от кахексии и интоксикации, которые развиваются достаточно интенсивно. Злокачественным опухолям свойственны рецидивы и метастазы [3, 13, 14].

Результаты гистологических исследований органов и тканей 11 357 больных опухолями животных, проведенных Т.П. Кудрявцевой [4], показали, что неоплазмы различного генеза у крупного рогатого скота представлены в основном следующими типами опухолей: фибросаркома — 543 случая (31,4%), веретеноклеточная саркома — 256 (15,2%), фиброма — 248 (12,4%), нейрофиброма и нейросаркома — 367 (31,0%), аденома и аденосаркома — 106 (6,1%), ангиома — 58 (3,4%), рак (овсяноклеточный, мозговик и пр.) — 45 (2,6%), аденокарцинома (железистый рак) — 72 (4,1%), миома и миофиброма — 19 (1,1%).

Опухоли у сельскохозяйственных животных наносят определенный экономический ущерб, поскольку снижается продуктивность, что обуславливает выбраковку и отправку животных на убой [15, 16]. При ветсанэкспертизе пораженные опухолями органы туши зачищают. Непораженные части туш и органов согласно Правилам ветсанэкспертизы направляют на переработку. При обширном поражении опухолями тушу и органы направляют в утиль.

Учитывая, что при опухолях туши после зачистки используются в пищевых целях, создается необходимость проведения сравнительного анализа качества и безопасности мяса здорового и пораженного опухолями скота. Это послужило основанием для проведения исследования мяса крупного рогатого скота, пораженного новообразованиями, в сравнительном аспекте с мясом здоровых животных таких же возрастных групп [17, 18].

### Материалы и методы

Частоту обнаружения доброкачественных опухолей определяли в условиях боенских предприятий при ветеринарном осмотре туш и органов КРС.

Отбирали пробы мяса согласно требованиям Правил ветсанэкспертизы мяса и ГОСТ 7269—2015. Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести.

Сенсорную оценку мяса проводили по 9-балльной шкале, разработанной ВНИИМП и по ГОСТ 9959—2015. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки.

Физико-химические исследования мяса осуществляли по ГОСТ 23392—2016. Мясо. Методы химического и микроскопического анализа свежести и в соответствии с п. 13.5 приложения 1 Правил ветсанэкспертизы мяса и мясных продуктов (1988).

Микробиологические исследования мяса проводили по ГОСТ Р 54354—2011. Мясо и мясные продукты. Общие требования и методы микробиологического анализа.

Гистологические исследования осуществляют согласно ГОСТ 31931—2012. Мясо птицы. Методы гистологического и микроскопического анализа.

Относительную биологическую ценность и безвредность мяса определяли в опытах на инфузориях *Tetrachimena pyriformis* в соответствии с методическими рекомендациями [19, 20].

### Результаты исследования и обсуждения

Осмотр туш и органов КРС разных возрастных групп показал, что доброкачественные опухоли выявляются обычно в продуктах убоя взрослых и старых животных. Эти данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Частота выявления доброкачественных опухолей

Группы животных	Количество осмотренных туш	Результаты осмотра туш	
		Количество туш с выявленными опухолями, шт.	Доля поражения, %
Телята	1 180	—	—
Молодняк	122 440	3	0,02
Нетели	1 260	1	0,08
Коровы	1 220	2	0,16
Быки	780	1	0,13
Всего	16 680	7	0,04

Данные табл. 1 свидетельствуют, что при исследовании 16 680 туш убитого КРС разных возрастных групп было выявлено 7 туш с поражением доброкачественными опухолями, что составляет 0,04% от числа обследованных. Опухоли обнаруживали на коже, в отдельных внутренних органах и на нервных волокнах туши. При осмотре продуктов убоя телят опухоли не выявляли. У молодняка опухоли у 0,02% туш, у нетелей — 0,08%. В тушах и органах коров и быков опухоли обнаруживали в 2—3 раза чаще, и составляло это 0,13...0,16%, что подтверждает рост числа случаев опухолевой патологии с увеличением возраста животных.

В случаях обнаружения опухолей отбирали пробы мяса и подвергали их лабораторному анализу. При органолептической оценке мяса использовали все сенсорные методы исследования, предусмотренные 9-балльной шкалой. Полученные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты органолептической оценки мяса**

Группы исследованных животных	Показатели органолептической оценки мяса					
	Вид и цвет мяса	Запах	Консистенция	Вкус	Сочность	Средний балл
Телята	7,4	7,9	8,1	8,3	8,4	8,1
Молодняк	7,9	8,3	8,3	8,5	8,5	8,3
Нетели	8,3	8,4	8,4	8,5	8,3	8,4
Коровы	8,2	8,1	8,3	8,2	8,2	8,2
Быки	8,1	7,6	8,4	8,1	8,0	8,1
Средний балл	8,03	8,06	8,30	8,30	8,30	8,19
Контроль	8,4	8,3	8,4	8,4	8,4	8,4
Отклонение	-0,37	-0,24	-0,1	-0,1	-0,1	-0,19

По данным табл. 2 видно, что при органолептической оценке мясо КРС разных возрастных групп, пораженного опухолями, получало оценку на 0,1...0,37% балла ниже, по сравнению с мясом здоровых животных. В целом такое отклонение по всем сенсорным показателям составило около 0,99 балла. Наиболее выраженные отклонения выявлены при оценке вида, цвета и аромата мяса. Эти данные позволяют заключить, что по органолептическим показателям мясо животных, пораженных доброкачественными опухолями, незначительно отличается от мяса здорового скота. Это дает основание использовать такое мясо при определенных условиях в пищевых целях.

Физико-химические исследования мяса проводили в день убоя животных. Результаты сравнительного анализа мяса здоровых и пораженных опухолями животных приведены в табл. 3.

Из данных табл. 3 видно, что по физико-химическим свойствам мясо животных при наличии доброкачественных опухолей не имеет выраженных отличий от показателей мяса здоровых животных. Например, показатель pH не превышал значений, присущих доброкачественному мясу. Самый низкий pH был у образцов № 2 и 5, у которых составлял  $6,26 \pm 0,03$  и  $6,24 \pm 0,05$ . Самый высокий pH был в пробах № 1 и 3 и составлял  $6,28...6,29 \pm 0,05$ . В мясе здоровых животных pH не превышал  $6,02 \pm 0,04$ .

Таблица 3

**Физико-химические показатели мяса КРС при опухолях**

Показатели	Результаты исследований отобранных образцов мяса					
	1	2	3	4	5	Контроль
pH	6,28 ± 0,04	6,26 ± 0,03	6,29 ± 0,05	6,27 ± 0,03	6,24 ± 0,05	6,02 ± 0,04
Реакция на пероксидазу	+	+	±	+	+	+
Реакция с CuSO <sub>4</sub>	–	–	±	–	–	–
Формольная проба	–	–	–	–	–	–
Количество ЛЖК, мг/КОН	2,52 ± 0,07	2,53 ± 0,01	2,59 ± 0,04	2,57 ± 0,02	2,51 ± 0,05	2,49 ± 0,02
Количество ААА, мг/%	65,4 ± 0,71	65,8 ± 0,64	66,6 ± 0,74	64,3 ± 0,62	65,1 ± 0,63	64,9 ± 0,59
Кислотное число жира, мг%	1,71 ± 0,14	1,89 ± 0,16	1,92 ± 0,18	1,78 ± 0,16	1,74 ± 0,11	1,72 ± 0,16

Реакция на пероксидазу так же показала, что при доброкачественных опухолях мясо отвечает требованиям нормативных документов, в нем не происходит интенсивного накопления микроорганизмов. У четырех проб из пяти реакция показала положительный результат — раствор окрасился в сине-зеленый цвет, который через некоторое время перешел в бурый. И только в пробе № 3 отмечена сомнительная реакция — раствор сначала оставался прозрачным, затем приобрел зеленоватое окрашивание, которое с задержкой перешло в коричневый цвет.

В реакции бульона с раствором сернокислой меди пробы № 1, 2, 4, 5 показали отрицательный результат — во всех случаях бульон оказался прозрачным. В пробе № 3 смесь становилась мутноватой, что свидетельствует о начальных процессах распада белков в данном образце мяса.

Формольная реакция со всеми пробами мяса имела отрицательный результат, т.е. раствор во всех пробирках оставался прозрачным.

Количество ЛЖК в исследуемых образцах мяса при выявлении опухолей составляло 2,51...2,59 мг/КОН, в контрольных образцах — 2,49 мг/КОН.

В содержании amino-аммиачного азота в мясе при доброкачественных опухолях закономерных отклонений от контроля не отмечено.

Кислотное число жира в мясе животных при наличии опухолей составляло 1,71...1,92 мг%, в мясе здорового скота — 1,72 мг%.

Эти данные позволяют заключить, что мясо больного КРС имеет незначительные отклонения от мяса здоровых животных и может быть использовано для дальнейшей переработки на различные мясные продукты.

Результаты исследования химического состава мяса при доброкачественных опухолях приведены в табл. 4.

Данные табл. 4 свидетельствуют, что наибольшее содержание влаги было в мясе образца № 3 (74,68%). Пробы № 1, 2, 4, 5 показали примерно одинаковые значения по этому показателю (74,01, 74,06, 74,22, 74,22%). Содержание влаги в мясе контрольных образцов не превышало 74,14%.



Таблица 4

**Химический состав мяса крупного рогатого скота при доброкачественных опухолях**

Показатели	Исследуемые пробы мяса					
	1	2	3	4	5	Контроль
Влага	74,01 ± 0,19	74,06 ± 0,21	74,68 ± 0,07	74,29 ± 0,11	74,22 ± 0,20	74,14 ± 0,12
Белок	20,36 ± 0,05	20,66 ± 0,10	19,82 ± 0,02	20,32 ± 0,07	20,20 ± 0,03	20,57 ± 0,11
Жир	4,53 ± 0,01	4,68 ± 0,01	4,42 ± 0,02	4,29 ± 0,01	4,48 ± 0,02	4,52 ± 0,13
Зола	1,10 ± 0,02	1,00 ± 0,02	0,98 ± 0,02	1,10 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,00 ± 0,01

Таблица 5

**Микробиологические показатели мяса при обнаружении опухолей**

Показатели, КОЕ/г	Исследуемые образцы мяса					
	1	2	3	4	5	Контроль
КМАФАнМ, КОЕ/г	0.55...0.70×10 <sup>2</sup> (0.62×10 <sup>2</sup> )	0.28...0.36×10 <sup>2</sup> (0.30×10 <sup>2</sup> )	0.74...0.80×10 <sup>2</sup> (0.77×10 <sup>2</sup> )	0.65...0.76×10 <sup>2</sup> (0.70×10 <sup>2</sup> )	0.54...0.57×10 <sup>2</sup> (0.56×10 <sup>2</sup> )	0.23...0.39×10 <sup>2</sup> (0.28×10 <sup>2</sup> )
БГКП	–	–	1	–	–	–
Сальмонеллы	–	–	–	–	–	–
<i>St. aureus</i>	–	–	1	1	–	–
<i>L. monocytogenes</i>	–	–	–	–	–	–
<i>Cl. Perfringens</i>	–	–	–	–	–	–
Сапрофитные	+	+	+	+	+	+

Содержание белка во всех пробах находилось примерно на одном уровне и составляло 19,82...20,36. При этом отклонения в показателях мяса животных с опухолями по сравнению с контролем не превышали 0,54%.

Содержание жира в мясе всех образцов было также практически одинаковым. Более низкое содержание жира отмечено во всех образцах мяса (4,29...4,78%) по сравнению с мясом здорового скота (4,52%).

По содержанию золы исследуемые образцы мяса не имели выраженных различий. Отклонения в содержании зольных элементов составляли не более 0,01...0,02%.

Анализируя эти данные, можно заключить, что мясо крупного рогатого скота при обнаружении доброкачественных опухолей по химическому составу не значительно отличается от контроля, поэтому оно может использоваться для пищевых целей.

Результаты сравнительного микробиологического исследования мяса приведены в табл. 5.

Из данных табл. 5 видно, что общее микробное число (КМАФАнМ, КОЕ/г) во всех образцах мяса не превышало верхние пределы показателей, обозначенных в СанПиН 2.3.2. 1078—01, и составляло не более 28...80 микробных клеток в 1 г или 0,28...0,80 × 10<sup>2</sup> КМАФАнМ, КОЕ/г. При этом самый высокий показатель микробной контаминации оказался в мышцах образцов № 3 и 4 (0,80×10<sup>2</sup>, 0,76×10<sup>2</sup> соответственно). Во всех образцах исследуемого мяса выявляли сапрофитные микроорганизмы, и только в двух образцах мяса были обнаружены *St. aureus*, а в мышечной ткани третьего образца выявлены клетки бактерий группы кишечных палочек (БГКП). Таких патогенных микроорганизмов, как Сальмонеллы,

*Cl. perfringens* и *Listeria monocytogenes* в исследуемых образцах мяса не обнаруживали. В контрольных образцах мяса выявляли только сапрофитные микроорганизмы в количестве  $0,23 \dots 0,28 \times 10^2$  КМАФАнМ, КОЕ/г. Проведенные микробиологические исследования свидетельствуют, что все пять отобранных проб мяса практически имели бактериальную обсемененность, не превышающую требования нормативных документов. Однако в отдельных образцах мяса содержалась условно-патогенная микрофлора, в т.ч. клетки БГКП и золотистого стафилококка. Присутствие условно-патогенных микроорганизмов в мясе создает необходимость ограничения реализации его при поражении опухолями. Такое мясо необходимо направлять на промышленную переработку с термическим обеззараживанием, обеспечивающим гибель БГКП и стафилококков или направлять на изготовление колбас и консервов.

Для научного обоснования ветеринарно-санитарной оценки мяса КРС, пораженного доброкачественными опухолями, мы дополнительно провели исследования на инфузориях *Tetrachimena puriyormis*. В таких опытах мы определяли относительную биологическую ценность мяса и его безвредность. Результаты исследования приведены в табл. 6.

Таблица 6

**Показатели относительной биологической ценности и безвредности мяса при доброкачественных опухолях**

№ образца	ОБЦ мяса, %	Показатели исследования мяса				
		Количество инфузорий в 1 мл	Подвижность инфузорий	Форма инфузорий	Отклонения от контроля	% от контроля
1	89,06	$41,17 \times 10^4$	Сохранена	Сохранена	$-4,51 \times 10^4$	90,08
2	95,01	$43,01 \times 10^4$	Сохранена	Сохранена	$-2,67 \times 10^4$	94,11
3	86,13	$39,67 \times 10^4$	Сохранена	Сохранена	$-6,01 \times 10^4$	86,11
4	90,09	$41,62 \times 10^4$	Сохранена	Сохранена	$-4,06 \times 10^4$	91,09
5	92,38	$42,86 \times 10^4$	Сохранена	Сохранена	$-2,82 \times 10^4$	93,82
Контроль	100,00	$45,68 \times 10^4$	Активная	Сохранена	—	100,0

Проведенные опыты показали, что в питательной среде с добавлением вытяжки из свежего говяжьего мяса больных животных интенсивность накопления клеток инфузорий была различной и имела тенденцию к понижению по сравнению с мясом контрольных животных. Накопление инфузорий в 1 мл питательной среды с мясом пораженных опухолями животных снижалось на  $2,67 \dots 6,01 \times 10^4$  клеток простейших, или на 5,89...13,89% меньше по сравнению с мясом здорового скота. При этом форма клеток и их подвижность сохранялись и не имели заметных отличий от клеток инфузорий с использованием вытяжки из контрольного мяса.

Показатели общей биологической ценности мяса крупного рогатого скота, пораженного опухолями, были на 4,99...13,87% ниже по сравнению с мясом здоровых животных.

Эти данные свидетельствуют, что мясо КРС, пораженного доброкачественными опухолями, имеет показатели относительной биологической ценности ниже на 4,99...13,87% по сравнению с мясом здорового скота, показатели безвредности — ниже на 5,89...13,89%, чем мясо контрольного скота.

## Выводы

Анализируя результаты наших исследований и учитывая современные данные по опухолевой патологии у сельскохозяйственных животных, можно сделать выводы, что опухоли у животных имеют определенное распространение. Выявляемые доброкачественные опухоли разнообразны по патогенезу, форме и структуре, но они являются близкими по клиническому проявлению и влиянию на организм животного.

Новообразования у животных еще слабо изучены, они составляют особую группу заболеваний и имеют большое значение для ветеринарно-санитарной оценки мяса и субпродуктов убойного скота. Доброкачественные новообразования встречаются у КРС в 0,02...0,16% случаев от числа практически убитого поголовья. При этом у телят опухоли отсутствуют. Но поскольку истинные причины возникновения опухолей все еще остаются неизученными и научного обоснования ветсаноценки пораженных опухолями животных мяса еще не разработано, то создается необходимость определения наиболее безопасного и рационального использования такого мяса в пищевых целях. Но потребляя мясо животных, пораженных опухолями, мы не можем предположить, какое влияние оно оказывает на организм человека. Поэтому при обнаружении опухолей туши и субпродукты необходимо зачищать, непораженные части туши и органов направлять не в свободную реализацию, а на переработку с последующим обязательным термическим обеззараживанием. Такое мясо можно использовать для производства колбасных изделий, мясных хлебов или консервов. При отсутствии такой возможности мясо и субпродукты после зачистки надо направлять на проварку или для изготовления холодца и студня. Кровь и эндокринное сырье для медицинских целей не собирают. Шкуры подлежат обработке и общепринятому консервированию посолом или тузлукованием. Не допускается скармливать плотоядным домашним животным в сыром виде зачистку опухолей на туше или внутренних органах, ее следует утилизировать. При дистрофических изменениях в мышцах и органах туши и субпродукты направляют в утиль. При переработке такого мяса создаются условия повышенной гигиены и более строго соблюдаются правила личной гигиены персонала.

## References

1. Vasilchenko AA. The study of incidence of hemoblastosis in cattle and people. *Veterinariya*. 1984; (59):25—27. (In Russ).
2. Russian Federation law. *Kachestvo i bezopasnost' pishchevykh produktov* [Quality and safety of food products]. Moscow; 2001. (In Russ).
3. Terekhov PF. *Veterinarnaya klinicheskaya onkologiya* [Veterinary Clinical Oncology]. Moscow: Kolos Publ.; 1983. (In Russ).
4. Kudryavtseva TP. Cattle tumors. *Trudy VIEV*. 1981; 54:106—116. (In Russ).
5. Shishkov VP. Tumors and leukemia of animals (biological, economic and veterinary-medical aspects). In: Shabad LM, Shishkov VP. (eds.) *Problemy eksperimental'noi onkologii i leukozov cheloveka i zhivotnykh* [Problems of experimental oncology, human and animal leukemia]. Moscow: Kolos Publ.; 1979. p. 11—22. (In Russ).

6. Misdorp W, Van Der Heul RO. Tumours of bones and joints. *Bulletin of the world health organization*. 1976; 53(2—3):265—282.
7. Povey RC, Osborne AD. Mammary gland neoplasia in the cow. A review of the literature and report of a fibrosarcoma. *Pathologia veterinaria*. 1969; 6(6):502—512. doi: 10.1177/030098586900600603
8. Tsutsui T, Kobayashi S, Hayama Y, Yamamoto T. Fraction of bovine leukemia virus-infected dairy cattle developing enzootic bovine leucosis. *Preventive veterinary medicine*. 2016; 124:96—101. doi: 10.1016/j.prevetmed.2015.11.019
9. Seregin IG, Usha BV. *Laboratornye metody v veterinarno-sanitarnoi ekspertize pishchevogo syr'ya i gotovykh produktov* [Laboratory methods in veterinary and sanitary examination of food raw materials and finished products]. 2nd ed. Moscow: Stereotip Publ.; 2018. (In Russ).
10. Ortloff A, Neumann J, Illanes O. Concurrent Gliosarcoma and Choroid Plexus Carcinoma in a Cow. *Journal of comparative pathology*. 2017; 156(1):25—28. doi: 10.1016/j.jcpa.2016.10.007
11. Golovin DI. Lymphomas. In: *Oshibki i trudnosti gistologicheskoi diagnostiki opukholei* [Errors and difficulties of histological diagnosis of tumors]. Leningrad: Meditsina Publ.; 1982. p. 38—65. (In Russ).
12. Bertone AL. Neoplasms of the bovine gastrointestinal tract. *Vet Clin North Am Food Anim Pract*. 1990; 6(2):515—524. doi: 10.1016/s0749-0720(15)30876-8
13. Chernitskiy AE, Sidelnikova VI. Modern ideas of endogenous intoxication role in pathogenesis of general adaptation syndrome and inflammation in animals. In: *Problemy i puti razvitiya veterinarii vysokotekhnologichnogo zhivotnovodstva : Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems and ways of development of high-tech animal husbandry: Proceedings of the international scientific and practical conference]. Voronezh: Istoki Publ.; 2015. p. 478—484. (In Russ).
14. Benavides J, Fuertes M, Pérez V, Delgado L, Ferreras MC. Ruminant Leiomyosarcoma in an adult cow. *Berliner und Munchener tierarztliche Wochenschrift*. 2016; 129(7—8):355—359.
15. Ogasawara F, Kumagai Y, Mikami O, Ishikawa Y, Kadota K. Erythroblastic sarcoma in the thoracic cavity of a cow. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2019; 81(1):134—137. doi: 10.1292/jvms.18-0413
16. Horiuchi N, Komagata M, Shitamura K, Chiba S, Matsumoto K, Inokuma H, Matsui T, Kobayashi Y. Glomus tumor of the liver in a cow. *J Vet Med Sci*. 2015; 77(6):729—732. doi: 10.1292/jvms.14-0327
17. USSR Ministry of Agriculture. *Pravila veterinarnogo osmotra uboinykh zhivotnykh i veterinarno-sanitarnoi ekspertizy myasa i myasnykh produktov* [Rules for veterinary inspection of slaughtered animals and veterinary-sanitary inspection of meat and meat products]. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1998. (In Russ).
18. Federal agency for technical regulation and metrology. SanPiN 2.3.2.1078—01. *Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov* [Hygienic requirements for food safety and nutritional value]. Moscow: Izdanie ofitsial'noe Publ.; 2002. (In Russ).
19. Rodina GG, Vuks GA. *Degustatsionnyi analiz produktov* [Tasting analysis of products]. Moscow: Kolos Publ.; 1994. (In Russ).
20. Tolokonnikov VP. *Sbornik normativnykh dokumentov po veterinarno-sanitarnoi ekspertize i gosvetnadzoru* [Collection of regulatory documents on veterinary-sanitary expertise and state supervision]. Stavropol: Agrus Publ.; 2015. (In Russ).

### Библиографический список

1. Васильченко А.А. Изучение заболеваемости гемобластомами крупного рогатого скота и людей // Ветеринария. 1984. № 59. С. 25—27.
2. Закон РФ «О качестве и безопасности пищевых продуктов». М., 2001. 41 с.
3. Терехов П.Ф. Ветеринарная клиническая онкология. М.: Колос, 1983. 208 с.

4. Кудрявцева Т.П. Опухоли крупного рогатого скота // Тр. ВИЭВ. 1981. Т. 54. С. 106—116.
5. Шишков В.П. Опухоли и лейкозы животных (биологические, экономические и ветеринарно-медицинские аспекты) // Проблемы экспериментальной онкологии и лейкозов человека и животных. М.: Колос, 1979. С. 11—22.
6. Misdorp W., Van Der Heul R.O. Tumours of bones and joints // Bulletin of the world health organization. 1976. Vol. 53. No. (2—3). P. 265—282.
7. Povey R.C., Osborne A.D. Mammary gland neoplasia in the cow. A review of the literature and report of a fibrosarcoma // Pathol Vet. 1969. Vol. 6. № 6. P. 502—12. doi: 10.1177/030098586900600603
8. Tsutsui T., Kobayashi S., Hayama Y., Yamamoto T. Fraction of bovine leukemia virus-infected dairy cattle developing enzootic bovine leucosis // J Prev Vet Med. 2016. Vol. 124 P. 96—101. doi: 10.1016/j.prevetmed.2015.11.019
9. Серегин И.Г., Уша Б.В. Лабораторные методы в ветеринарно-санитарной экспертизе пищевого сырья и готовых продуктов. 2 изд. М.: Стереотип, 2018. 408 с.
10. Ortloff A., Neumann J., Illanes O. Concurrent Gliosarcoma and Choroid Plexus Carcinoma in a Cow // J Comp Pathol. 2017. Vol. 156. № 1. P. 25—28. doi: 10.1016/j.jcpa.2016.10.007
11. Головин Д.И. Лимфомы // Ошибки и трудности гистологической диагностики опухолей. Л.: Медицина, 1982. 304 с.
12. Bertone A.L. Neoplasms of the bovine gastrointestinal tract // Vet Clin North Am Food Anim Pract. 1990. Vol. 6. № 2. P. 515—524. doi: 10.1016/s0749-0720(15)30876-8
13. Черницкий А.Е., Сидельникова В.И. Современные представления о роли эндогенной интоксикации в патогенезе общего адаптационного синдрома и воспаления у животных // Проблемы и пути развития ветеринарии высокотехнологичного животноводства: Материалы Международной научно-практической конференции. Воронеж: Истоки, 2015. С. 478—48.
14. Benavides J., Fuertes M., Pérez V., Delgado L., Ferreras M.C. Ruminant Leiomyosarcoma in an adult cow // Berl Munch Tierarztl Wochenschr. 2016. Vol. 129. № 7—8. P. 355—359.
15. Ogasawara F., Kumagai Y., Mikami O., Ishikawa Y., Kadota K. Erythroblastic sarcoma in the thoracic cavity of a cow // J Vet Med Sci. 2019. Vol. 81. № 1. P. 134—137. doi: 10.1292/jvms.18-0413
16. Horiuchi N., Komagata M., Shitamura K., Chiba S., Matsumoto K., Inokuma H., Matsui T., Kobayashi Y. Glomus tumor of the liver in a cow // J Vet Med Sci. 2015. Vol. 77. № 6. P. 729—32. doi: 10.1292/jvms.14-0327
17. Правила ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов. М.: Агропромиздат, 1998. 68 с.
18. СанПин 2.3.2.1078—01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М.: Издание официальное, 2002. 215 с.
19. Родина Г.Г., Вукс Г.А. Дегустационный анализ продуктов. М.: Колос, 1994. 192 с.
20. Толоконников В.П. Сборник нормативных документов по ветеринарно-санитарной экспертизе и госветнадзору. Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2015. 348 с.

**About authors:**

*Seregin Ivan Georgievich* — Candidate of Veterinary Sciences, Professor, Department of Morphology and Veterinary Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation, e-mail: iseregin@rgau-msha.ru

*Baranovich Evgenia Sergeevna* — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation, e-mail: ebaranovich@rgau-msha.ru

*Nikitchenko Vladimir Efimovich* — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia; 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: v.e.nikitchenko@mail.ru

*Nikitchenko Dmitry Vladimirovich* — Doctor of Biological Sciences, Chief Veterinarian, Ostankino Meat Processing Plant, 14, Ogorodny pr., Moscow, 127254, Russian Federation, e-mail: v.e.nikitchenko@mail.ru

*Rystsova Ekaterina Olegovna* — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: ekaterina-rystsova@yandex.ru

#### **Об авторах:**

*Серегин Иван Георгиевич* — кандидат ветеринарных наук, профессор кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, e-mail: iseregin@rgau-msha.ru

*Баранович Евгения Сергеевна* — доцент, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, e-mail: ebaranovich@rgau-msha.ru

*Никитченко Владимир Ефимович* — доктор ветеринарных наук, профессор, профессор департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов; Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, e-mail: v.e.nikitchenko@mail.ru

*Никитченко Дмитрий Владимирович* — доктор биологических наук, главный ветеринарный врач, ОАО «Останкинский мясоперерабатывающий комбинат», Российская Федерация, 127254, г. Москва, пр-д Огородный, стр. 14; e-mail: v.e.nikitchenko@mail.ru

*Рысцова Екатерина Олеговна* — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов; Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, e-mail: ekaterina-rystsova@yandex.ru



## Агроэкономика Agroeconomics

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-511-519  
UDC: 631.95

Research article

### Socio-economic impacts of the exploitation of the marshes of Kayanza province in the Northern Burundi: case of marshes of the average Ruvubu and its tributaries

Gilbert Nijimbere<sup>1\*</sup>, Anatoly I. Suprunov<sup>1</sup>,  
Gaspard Banyankimbona<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

<sup>2</sup>University of Burundi, Bujumbura, Burundi

Corresponding author: [gilbert.nijimbere@ub.edu.bi](mailto:gilbert.nijimbere@ub.edu.bi)

**Abstract.** The wetlands whose marshes are currently under pressure from the growing population require a consequent increase in production. The marshes are now agricultural reserves coveted because, firstly, the scarcity of arable land, of the other problems of erosion and soil fertility decline affecting land in hills uphill. The mostly poor people resort to these marginal lands, to the suppression of fallows and to afforestation. This results in overexploitation that accelerates the degradation of soil and biological and abiotic resources. However, farmers do not have the knowledge and technologies to enable them to sustainably manage wetlands. The results of this study show that the population of our study area is largely dependent on marshes for drinking and irrigation water supply, building and basketry materials, and plant species to feed the farm animals. The majority of farmers have a portion of land in the marshes. The main crops are currently leguminous and tuberous plants with rice and beans which are successively the most productive crops. The majority exploit the marshes in both dry and rain seasons. The marshes provide 78% of the farmers with an average income between 0 and \$ 30 per plot/season. The income is very low given the needs of farmers. These activities have resulted in the disappearance of the original fauna and vegetation of these marshes more than 13 years ago. The results of the study led us to conclude that these marshes were dominated by *Cyperus papyrus*. The draining of marshes has led to the drying up of springs, the loss of many animal and plant species.

**Key words:** impact, exploitation, marsh, vegetation, fauna, plants, income, Burundi, Kayanza

© Nijimbere G., Suprunov A.I., Banyankimbona G., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Article history:**

Received: 1 September 2019. Accepted: 28 November 2019.

**For citation:**

Nijimbere G, Suprunov AI, Banyankimbona G. Socio-economic impacts of the exploitation of the marshes of Kayanza province in the northern Burundi: case of marshes of the average Ruvubu and its tributaries. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*, 2019; 14(4):511—519. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-511-519

## Introduction

Marshes are one of the variants of wetlands. Around the world, rural development specialists have long considered wetlands as sterile and unhealthy environments, disease epidemics and a haven for mosquitoes. With the evolution of technology, many efforts have been made to develop and dedicate the space they occupy to use supposed “more productive”, such as irrigated agriculture. Some have even been totally dried out [1]. In the last decade, about 60% of wetlands have been destroyed in the world, mainly because of drainage (for agriculture), pollution and dams [2]. One of the reasons for the alarming disappearance of wetlands is that they are multifunctional (biodiversity reserve, recreational activities, carbon storage) and have a certain economic interest for different activities (fish farming, agriculture, mining materials). People always need water, whether for consumption, for cooking or for any type of domestic or industrial use. To obtain water, many rural communities without access to surface water use groundwater [3].

Apart from marshes, other wetlands encountered in Burundi are the lakes, rivers and bogs from the definition adopted by 98 countries of the Ramsar Convention. According to the Water Act of 1992 of the same Convention, wetlands which include the marshes are developed land or not, usually flooded or waterlogged fresh, salt or brackish permanently or temporarily. The vegetation, when it exists, is dominated by hygrophilous plants for at least part of the year. In Burundi, the word ‘marsh’ is used in a rather particular sense. Commonly, the term ‘marsh’ refers to wet valley bottoms excluding dry shallows, the shade being sometimes held. Beyond their common feature, physical marshes stand out in various ways: the point of view of soil texture (peat, clay or sandy areas) and natural vegetation (papyrus, reeds, grasses) and their geographical location (altitude) and groundwater level [4].

Article 2 of Burundian law on the marshes stipulates that they are usually inundated depression in land or waterlogged, either permanently or temporarily. When dry, marshes are distinguished from dry marshes by the existence, on all or part of their surface, of a network of natural or artificial emissaries [4]. A marsh is defined as the lower part of a hill or valley; it is flat or concave with a slope and composed of either alluvial soils, or organic soils or peat depending on the water conditions and/or its altitude [5].

That it is laid out and therefore does not have stagnant water in the rainy season, whether it is sterile as a result of a poor exploitation of peat or clay or that it is a floating peat, a marsh keep its meaning. It is the result of a deposit of solids torn off the hill or the valley overlooking low slope. Generally, a shallow bed can be grown in the rainy season with or without surface drainage and in the dry season with irrigation.



A marsh is also defined as a part between two ranges of hills and drained by one or more streams. The water flows at a very low speed or is stagnant on a thin layer with specific vegetation (papyrus) [6]. Their characterization differs according to soil and hydrological conditions [4]. Water flows at very low speed or stagnates on a thin layer with specific vegetation (papyrus) [4]. Their exploitation dates from the year 1920 at the instigation of the Belgian tutelary administration. Previously, the low density on the hill did not encourage people to consider the use of marshes.

For a long time they were used as pasture for cattle, especially during the dry season, when the hills were dry. They are also rich in clay, sand, gravel and rubble that are building materials and peat that is a source of thermal energy. Because of their almost constant moisture, marshes are important tracts of valuable land for various crops, especially during the dry season, when hills are not cultivated without irrigation [7]. Burundian marshes are fragile and made even more vulnerable as their exploitation is increasing. They have a clear diversity in terms of their shape and size, as well as their vocations and their agro-ecological characteristics [4]. Nevertheless, their development is not yet the subject of a strategy that responds to imperatives of sustainable development [8].

If for a long time the marshes escaped intensive exploitation for reasons including cultural and climatic reasons, they now constitute highly coveted agricultural reserves because, on the one hand, the scarcity of arable land, on the other hand, erosion problems and declining soil fertility which affect upland stream hills. Marshes also lend themselves to productive uses of less socio-economic importance, such as fish farming in small ponds, the exploitation of clay for the brick and tile industry or the extraction of peat for energy purposes or for the manufacture of fertilizers. In the past, they were only grown during the dry season (flood recession cultivation), using a drainage system dug to maintain the water level, so that the ecosystem was not disturbed.

The recent introduction of rice, however, has upset this system: practiced during the rainy season, it was draining because the rice needs a lot of water during its growing cycle [4]. The concern to meet the needs of the population in constant growth requires a consequent increase in production. As a result, poor people use marginal lands, clearing fallows and forestation. This results in overexploitation that accelerates soil degradation and significantly reduces biological diversity. In addition, the desire to diversify sources of income through the creation of income-generating activities is causing serious damage to the environment. The manufacture of bricks and tiles requires huge amounts of wood to cook. Likewise, this activity exports a lot of superficial marshland leaving only gravel and sand. Gravel and peat mining disturbs riverbeds and predisposes fields to flooding during the rainy season.

The province of Kayanza that was the subject of our study is among the most populous provinces of the country, with a population living mainly from agriculture. With a population of 585 412 inhabitants, or 7.2% of the national population [9], the province of Kayanza occupies an area of 7 510 ha occupied by marshes [8]. These marshes are seasonally cultivated and about 11% of the Burundian marsh fields are in this province [10]. The study aims to show the socio-economic impacts of the exploitation of marshes in Kayanza province in the Northern Burundi.

## Materials and methods

In order to collect the data related to this study, an investigation completed by the focus group was used. A total of 126 farmers in two communes (Muhanga and Butanzwa) were investigated. We have chosen a total of 13 census hills. The choice of these hills was motivated mainly by the fact that they underlie the marshes under study. In addition, the two municipalities are home to more of the marshes of Kayanza province.

The survey questionnaire includes questions about marshes attachment/dependence, marshes evolution; land acquisition method, area, fertilization, productivity, plant species in livestock feed, income and legal framework around the marshes. Of our respondents, 61% are male and 39% are female. The vernacular names provided to us during the survey have been translated into scientific names thanks to the information collected in various works of Nzigidahera (2007, 2008, 2009) on biodiversity in Burundi [11—14]. The data related to the area were acquired through the measurements using GPS. The SPSS software allowed us to process the data collected during this study.

## Results and discussion

*Information specific to survey on farmers and their attachment/dependence on marshes.* The results of the survey show that farmers depend on marshes or rivers for a variety of purposes. Almost all farmers (94.4%) obtain drinking water from marshes (the remaining 5.6% drink tap water), 74.6% rely on irrigation water, 66.7% in building materials and 15.9% in basketry materials, these percentages being calculated for each end. The results of the study show that 92% of our respondents have at least a portion of land in the marshes.

*Land acquisition mode.* The modes of acquisition of the parcels most used at the level of the marshes subjected to our study are especially the inheritance, sharecropping and the purchase. The first is the most common mode of acquisition since the parcel is appropriated by succession. In the case of the purchase, the transfer of the parcel is done against payment. And as for sharecropping, the sharecropper gives the owner of a plot part of the harvest. The results of this study show that 78.5% of parcels are acquired through inheritance. The purchase is the second mode and allows the acquisition of 19.8% of the plots and 1.7% remaining are acquired through sharecropping.

*Land area.* Of the 126 people surveyed, 116 people gave the estimated area of one of their plots. The latter coupled with the average area of a plot obtained on the basis of measurements of 60 parcels by GPS enabled us to give the characteristics of the parcels (Table 1).

Table 1

Characteristics of parcels

Characteristics	Estimated area <i>a</i> , are	Measured area <i>b</i> , are	Difference ( <i>b</i> – <i>a</i> )
Mean	1.65	1.95	0.3
Median	1.3	1.43	0.13
Mode	1.5	1.08	-0.42
Variance	1.36	2.13	0.77
Minimum	0.12	0.15	0.03
Maximum	6.4	7.9	1.5

The results in Table 1 above show that the estimated average area of a plot is 1.65 are. The size of a plot is an important element in the planning of agricultural activities, the results of the survey allowed us to give its distribution shows that 38% of our respondents have plots of area ranging from 0—1 are, 43% 1—2 are and the rest (19%) has more than 2 are. The results show that each farmer has about 2 parcels on average in the marshes. The results of our statistical analysis show that the asymmetry or Knewness coefficient (CA) is 1.4 and the Kurtosis coefficient (CK) is 2.15. These values are different from the theoretical values (CA < |1| and CK < |1.5|). This indicates that the distribution of plot areas does not follow a normal distribution.

*Types and importance of swamp crops.* The main types of crops include cereals, leguminous and tuberous plants. The importance was evaluated on the basis of 101 responses of our respondents and the results are as follows: 49.1% are leguminous, 47.8% cereals and tuberous plants 3.1%.

*Fertilization.* Our study shows that only 25.6% of farmers use fertilizer to increase production. According to 53.3% of respondents, these are chemical and the remaining 46.7% are organic fertilizers. Small-scale fertilization is explained by the fact that few farmers allocate little money for any agricultural activity, only 1.7% takes out loans.

*Marsh productivity.* Marsh productivity has taken into account the importance of crops. Beans are the most productive crop (at 49.2%) followed by rice (42.8%). The other crops come in the following order: potato (5.1%), corn (2.7%), and finally sweet potato (0.3%).

*Legal framework for the exploitation of marshes.* In Burundi, there is law on marshes. The latter contains information related to sustainable management. Nevertheless, the majority (80%) of farmers interviewed say they have not been aware of it.

*Impacts of agricultural activities on the biological resources of marshes.* The results of our investigation show that the marshes of our study area lost the original vegetation more than 13 years ago as 30.2% of our respondents testify.

They were dominated by the species *Cyperus papyrus* (43.5%), *Phragmites mauritianus* (17.7%), *Cyperus distans* (16.1%), and remaining species (*Acacia sieberana*, *Polygonum pulchrum*, *Cyperus pseudocladus*, *Cyperus latifolius*) are cited by 22.7% of respondents (Table 2). These results allow conclude that the land was occupied by marshes of *Cyperus papyrus*.

Among animals in the marshes, fish are the best known and have very diverse vernacular names. Among them are the species *Clarias gariepinus*, *Haplochromis sp.* (Table 3). It should be noted that 76.9% of the 126 people interviewed (97) provided us information on marsh biodiversity and regret their decline.

Table 2

Formerly dominant plant species in marsh

Scientific name	Vernacular name	Percentage, %
1. <i>Acacia sieberana</i>	Iminyinya	8.1
2. <i>Cyperus distans</i>	Intaretare	16.1
3. <i>Phragmites mauritianus</i>	Amarenga	17.7
4. <i>Polygonum pulchrum</i>	Ibigorogonzo	4.8
5. <i>Cyperus pseudocladus</i>	Ibikamo	1.6
6. <i>Cyperus papyrus</i>	Urufunzo	43.5
7. <i>Cyperus latifolius</i>	Urukangaga	8.1
Total		100.0

Table 3

Summary on marsh fauna

Scientific name	Vernacular name
<i>Cercopithecus aethiops</i>	Inkende
<i>Hippopotamus amphibius</i>	Imvubu
<i>Crocota crocota</i>	Imfyisi
<i>Clarias liocephalus</i>	Isomvyi
<i>Haplochromis sp.</i>	Injori
<i>Clarias gariepinus</i>	Imare

Table 4

Marsh plant species involved in livestock feeding

Scientific name	Vernacular name	Number of responses	Percentage, %
1. <i>Bidens pilosa</i>	Icanda	6	7.0
2. <i>Commelina diffusa</i>	Uruteza	17	19.8
3. <i>Cyperus latifolius</i>	Urukangaga	6	7.0
4. <i>Digitaria vestita</i>	Urwiri	43	50.0
5. <i>Cyperus pseudocladus</i>	Urukamo	2	2.3
6. <i>Crassocephalum montuosum</i>	Ibifurifuri	5	5.8
7. <i>Panicum maximum</i>	Igikaranka	2	2.3
8. <i>Bothriocline longipes</i>	Imibebe	3	3.5
9. <i>Polygonum pulchrum</i>	Ibigorogonzo	2	2.3
Total		86	100.0

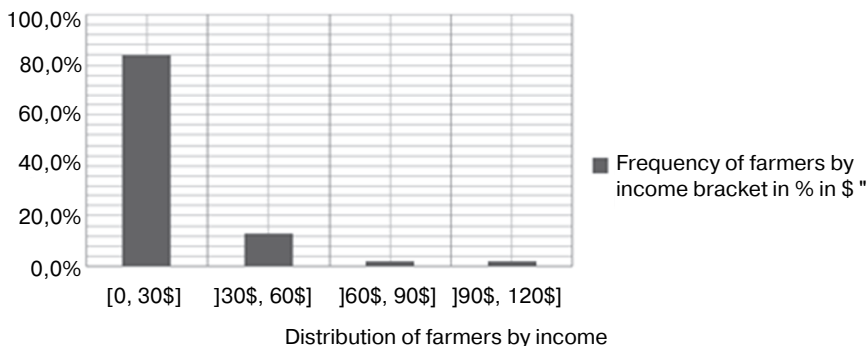
Plant species of marshes participating in the feeding of livestock. The results of this work reveal that 41.9% of farmers find forage for their livestock in the marshes. Table 4 shows which plant species are the most common fodder.

According to the analysis of the results of this table 4, *Digitaria vestita* (50%) and *Commelina diffusa* (19.8%) are the most recognized species in the marshes and used in cattle feeding followed by *Bidens pilosa* and *Cyperus latifolius* (7% each of these species).

Income from farming activities. The income of marsh farmers in our study area has been calculated on the basis of production from food crops such as rice, beans, maize, potatoes and sweet potatoes. This allowed us to give the distribution of the farmers in different income groups by plot and season of cultivation.

The figure above shows that 78% of farmers have an income / parcel / season in US dollars in the range [\$ 0.28, 18% in the interval] \$ 30, \$ 60] and 4% of [\$ 60, \$ 120]. The average income is \$ 18 while the average income /are is estimated at \$ 10.

Frequency of farmers by income group in % in \$



## Conclusions

Although marshes have long been unexploited, they are now under considerable pressure to search for cropland. The growing population in Burundi is a problem in view of the need to ensure the survival of the current population and future generations. The destruction of marshes is a result of agricultural activities that are unsustainable. Few marshes are well maintained, and farmers are not aware of some land laws in general. The areas are very fragmented, and farmers do not have the knowledge and technologies to improve production.

The continuous work of land without fallow depletes the soil with nutrients and is accompanied by a decline in soil fertility. Farmers do not have sufficient resources to modernize the agricultural sector. This results in the lack of quality seeds and fertilizers which lead to poor harvests. The animal and plant species are threatened with extinction as a result of the clearing and drainage of marshes. There is today the risks of losing forever the ecological services offered by marshes, which are mainly water storage, a reservoir of genetics for many animal and plant species. The disappearance of vegetation in the marshes is the cause of drying up of sources of water supply and the death or escape of animals caused by the loss of biotopes. Of all the foregoing, it is urgent to educate marsh users about sustainable marsh management.

## References

1. Skinner J, Beaumont N, Pirot JY. *Manuel de formation pour sur la gestion des zones humides tropicales*. Gland, Suisse: UICN; 1994.
2. Djondo M. Note conceptuelle pour la célébration de la journée mondiale des zones humides, Coalition verte, Bénin; 2011. 2 p.
3. DNCN. *Politique nationale des zones humides du Mali*. 2003.
4. Loulidi S, Mekouar MA. *Projet de loi sur les marais au Burundi*. Etudes juridiques de la FAO en ligne; 2001.
5. Sheta T. Schéma directeur d'aménagement et de mise en valeur des marais. Projet PNUD/FAO «Appui à la restauration et à la gestion de l'environnement», Bujumbura; 1999. 87 p.
6. Gahiro L. Compétitivité des filières rizicoles burundaises: le riz de Imbo et le riz des marais [Dissertation]. Gembloux; 2011.
7. MINGRIE: Production et superficie de cultures vivrières au Burundi, Bujumbura; 2010. 122 p.
8. FAO / PNUD, 2004: Plan directeur pour le développement et l'aménagement des marais, 42 p.
9. ISTEEBU. *Rapport sur les projections démographiques 2008—2030*. Bujumbura; 2013.
10. Sidi MT, Yameogo MAE. *Enquête Nationale agricole du Burundi 2011—2012. Saison A*. 2013.
11. Nzigidahera B. *Ressources biologiques sauvages du Burundi: Etat des savoirs traditionnels*. Bujumbura; 2007.
12. Nzigidahera B. *Etude de base pour la réhabilitation de la réserve naturelle de la Rusizi*. Bujumbura; 2008.
13. Nzigidahera B. Plan de gestion et de développement de la réserve naturelle de Malagarazi, Bujumbura, 71; 2009. p. 16—23.
14. Nzigidahera B. Plan de gestion et d'aménagement des paysages aquatiques protégés de Bugesera, 79; 2009. p. 31—37.

### About authors:

*Nijimbere Gilbert* — PhD student, Kuban State Agrarian University, Faculty of Agriculture and Ecology, Department of Genetics and Plant Breeding, 13, Kalinina st., Krasnodar, 350044, Russian Federation, e-mail: gilbert.nijimbere@ub.edu.bi

*Suprunov Anatoly Ivanovich* — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Selection, Genetics and Seed production, Kuban State Agrarian University, Head of the Department of Selection and Seed Production of Maize, Lukyanenko National Grain Center; 1, Tsentralnaya usadba KNIISKH quarter, Krasnodar, 350012, Russian Federation, e-mail: suprunov-kniisx@mail.ru

*Banyankimbona Gaspard* — Doctor of Sciences, University of Burundi, Faculty of Sciences, Department of Biology, Bujumbura, 1233, Burundi, e-mail: gaspard.banyankimbona@ub.edu.bi

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-511-519

Научная статья

## **Социально-экономические последствия эксплуатации болот реки Рувубу и ее притоков в провинции Каянза на севере Бурунди**

**Ж. Нижимбере<sup>1\*</sup>, А.И. Супрунов<sup>1</sup>, Г. Баньянкимбона<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Кубанский государственный аграрный университет,  
Краснодар, Российская Федерация

<sup>2</sup>Университет Бурунди, Бужумбура, Бурунди

\*gilbert.nijimbere@ub.edu.bi

**Аннотация.** На водно-болотных угодьях, которые в настоящее время находятся под воздействием возрастающей плотности населения, необходимо последовательно увеличить объемы производства сельскохозяйственной продукции. Болота в настоящее время являются весьма востребованными сельскохозяйственными территориями из-за существующей проблемы нехватки пахотных земель, а также эрозии и снижения плодородия почв, наблюдающихся на возвышенностях. Бедное население вынуждено использовать маргинальные земли, не оставлять земли под паром, вызывая облесение осушенных территорий. Все это создает чрезмерную нагрузку на экосистему и приводит к деградации почв, сокращению биоразнообразия и истощению ресурсов. Местные фермеры не обладают необходимыми знаниями и технологиями, позволяющими им безопасно использовать эти территории. Результаты данного исследования показывают, что население исследованного района в значительной степени зависит от болотных угодий, используя их для получения питьевой и поливной воды, строительных материалов, плетеных изделий и кормовых растений. Большинство фермеров имеют часть земли, расположенной на водно-болотных угодьях. Основные культуры, выращиваемые в настоящее время, — бобовые и клубненосные культуры, а также рис. Большинство фермеров собирают урожай на болотах и в сухой сезон, и в сезон дождей. Болота обеспечивают 78% фермеров средним доходом от 0 до 30 долл. за участок/сезон, что, учитывая потребности местного населения, является очень низким. Результаты исследования привели авторов к выводу, что на этих болотах преобладали растения *Cyperus papyrus*. Осушение болот стало причиной высыхания родников, гибели многих видов животных и растений: более 13 лет назад исчезли первоначальная флора и фауна болот.

**Ключевые слова:** последствие, эксплуатация, болото, растительность, фауна, урожай, доходы, Бурунди, Каянза

### **История статьи:**

Поступила в редакцию: 1 сентября 2019 г. Принята к публикации: 28 ноября 2019 г.

**Для цитирования:**

*Nijimbere G., Suprunov A.I., Banyankimbona G. Socio-economic impacts of the exploitation of the marshes of Kayanza province in the northern Burundi: case of marshes of the average Ruvubu and its tributaries // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 511—519. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-511-519*

**Об авторах:**

*Ниджимбере Гилберт* — аспирант кафедры генетики и селекции растений, Кубанский государственный аграрный университет, факультет сельского хозяйства и экологии, 350044, Российская Федерация, Краснодар, ул. Калинина, д. 13; e-mail: gilbert.nijimbere@ub.edu.bi

*Супрунов Анатолий Иванович* — доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции, генетики и семеноводства, Кубанский государственный аграрный университет, заведующий кафедрой селекции и семеноводства кукурузы, Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко; Российская Федерация, 350012, Краснодар, квартал Центральная усадьба КНИИСХ, 1, e-mail: suprunov-kniisx@mail.ru

*Баньянкимбона Гаспард* — доктор наук, кафедра биологии, Университет Бурунди, Бужумбура, 1233, Бурунди; e-mail: gaspard.banyankimbona@ub.edu.bi



## Управление и развитие АПК Management and development of agro-industrial complex

DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-520-558  
UDC 338.242  
JEL: C4, C15, O13, O18, P25, R1, R58, Q13

Научная статья / Research article

### Statistical analysis of current development of agriculture in Russian regions

Nikolai I. Ivanov, Tatiana V. Shevchenko,  
Vladimir S. Gorbunov

State University of Land Use Planning, *Moscow, Russian Federation*

[nickibut@yandex.ru](mailto:nickibut@yandex.ru), [tatyanavidn@mail.ru](mailto:tatyanavidn@mail.ru),  
[vsgorbunov@yahoo.com](mailto:vsgorbunov@yahoo.com)

**Abstract.** Regional social and economic development is characterized by presence of wide imbalances in structure of industry specialization, which are largely due to spatial development of individual territories. As part of a statistical study of agro-industrial complex development in regions of Russia, uneven agricultural development of certain territories, their involvement, as well as degree of participation in single national economic complex of the country are reflected. At the level of statistical significance, two of the region's most important in terms of accumulated agro-industrial potential are identified — Krasnodar Territory and Rostov Region. Based on the account of a wide range of socio-economic indicators, the subjects of the Russian Federation were ranked by integral indicator of development of agricultural sector and by urbanization level. The regions dominating for certain types of agricultural indicators were identified and their general dynamics over a long period of statistical observations were reflected. In the process of the research, a general conclusion is made step by step about development opportunities of agro-industrial complex in the regions in strategy for sustainable development of rural territories not only at the territorial level, but, more significantly, at the federal and local levels. In order to develop rural territories, among other things, it is necessary to create imperative social conditions that will preserve existing national economic potential and ensure fulfillment of not only production, but also demographic, cultural, historical and laborfunction in the village.

**Key words:** regional economy, agriculture, food complex, food security of the country, agricultural production, rating, multidimensional statistical comparisons, taxonomic method, agri-natural potential, integrated development of rural territories

© Иванов Н.И., Шевченко Т.В., Горбунов В.С., 2019.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**Acknowledgments.** Authors return thanks for assistance to member of RAS research board for cross-cutting problems of Eurasian economy integration, competitive ability and sustainable growth, Doctor of Economics, Professor, Mikhail Petrovich Burov.

**Conflict-of-interest notification.** We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.

**Article history:**

Received: 22 October 2019. Accepted: 18 November 2019

**For citation:**

Ivanov NI, Shevchenko TV, Gorbunov VS. Statistical Analysis of Current Development of Agriculture in Russian Regions. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):520—558. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-520-558

## Статистический анализ современного развития агропромышленного комплекса в регионах России

Н.И. Иванов, Т.В. Шевченко, В.С. Горбунов

Государственный университет землеустройства,  
Москва, Российская Федерация

nickibut@yandex.ru, tatyanaidn@mail.ru,  
vsgorbunov@yahoo.com

**Аннотация.** Региональное социально-экономическое развитие характеризуется наличием широких дисбалансов в структуре отраслевой специализации, которые во многом обусловлены особенностями пространственного развития отдельных территорий. В рамках проведенного статистического исследования развития АПК по регионам России отражена неравномерность агропромышленного развития отдельных территорий, их вовлеченность, а также степень участия в едином народнохозяйственном комплексе страны. На уровне статистической значимости выделены два наиболее важных по уровню накопленного агропромышленного потенциала региона — Краснодарский край и Ростовская область. На основе учета широкого круга социально-экономических индикаторов проведено ранжирование субъектов РФ по интегральному показателю развития АПК и по степени урбанизации. Целью проводимого исследования являлось определение доминирующих регионов по интегральному показателю развития АПК на основе исследования статистической динамики по отдельным видам сельскохозяйственных показателей за продолжительный период наблюдений. Результатом проведенного исследования стало формирование рейтинговой оценки субъектов РФ по интегрированному показателю агропромышленного развития. В процессе исследования поэтапно производится общий вывод о необходимости учета возможностей развития АПК регионов в стратегии устойчивого развития сельских территорий не только на территориальном уровне, но, что более значимо, на федеральном и местном. В целях развития сельских территорий помимо прочего необходимо формирование императивных социальных условий, которые позволят сохранить имеющийся народнохозяйственный потенциал и обеспечат выполнение на селе не только производственной функции, но и демографической, культурно-исторической, трудовой.

**Ключевые слова:** региональная экономика, сельское хозяйство, продовольственный комплекс, продовольственная безопасность страны, агропромышленное производство, рейтинговая оценка, многомерные статистические сопоставления, таксонометрический метод, агроприродный потенциал, комплексное развитие сельских территорий

**Заявление об отсутствии конфликта интересов.** Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность за помощь в организации исследования члену научного совета РАН по комплексным проблемам евразийской экономической интеграции, модернизации, конкурентоспособности и устойчивому развитию, доктору экономических наук, профессору Михаилу Петровичу Бурову.

**История статьи:**

Поступила в редакцию 22 октября 2019. Принята к публикации 18 ноября 2019.

**Для цитирования:**

*Иванов Н.И., Шевченко Т.В., Горбунов В.С.* Статистический анализ современного развития агропромышленного комплекса в регионах России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 4. С. 520—558. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-520-558

## Introduction

The agro-industrial complex in modern Russia is the most important socio-economic resource of the country, importance of which is growing in conditions of increasing role of natural factors in the system of sustainable development of civilization.

The trajectory of rural development is characterized by extreme unevenness. Even taking into account the achieved growth indicators of agricultural production after 2008—2009 crisis we can state a significant lag in quality and standard of living of rural population compared to urban one. There is a widening gap in innovation [1], investment, informational component of social development [2]. The degradation of cultural and social infrastructure is observed [3—5]. These and other unfavorable factors lead to an unsatisfactory structure of agricultural production funds. The negative impact of migration processes, expressed in the negative migration balance for rural areas, is becoming increasingly apparent [6—8]. There is an irrevocable loss of labor results in developing vast and prosperous in the past territories, and agro-industrial potential that has taken place in the past is being vanished [9—11].

Insufficient development of agricultural production in Russia hinders implementation of one of the most important reforms in post-Soviet Russia — land, which began three decades ago, which provides for replacement of collective farms and state farms as agricultural producers by hundreds of thousands of farmers and peasants owning their own land. Privatization of agricultural land and provision of it to those who want and can cultivate it seemed an obvious necessity [12].

Currently, in relation to agricultural land plots, the tasks still remain paramount: ensuring stability of land legislation and unity of the land policy pursued at the territorial level [13, 14];

developing effective information and analytical tools for accounting and monitoring the state of the land fund in the country in the context of constituent entities of the Russian Federation, digital transformation and digitalization of land market [15];

improving quality and expansion of the services provided by public authorities, ensuring information availability of land market indicators for all interested participants [16];

completion of the process of creating the Unified State Register of Real Estate, a multiple increase in the data contained in it both spatially and temporally, and increase their reliability [17];

realization of the rights of owners of land shares (units), expanding possibilities of their use in civil circulation;

improving the mechanism of land acquisition through involvement in land production of agricultural land from agricultural land in case of their non-use, improper use or misuse;

creating a unified methodological approach for all subjects of permissible state interference in private property for the speediest resolution of the accumulated contradictions of market institution of land acquisition for state and municipal needs [18];

development of security measures for access to land plots of federal, regional and municipal significance, as well as administrative reduction in number of cases of land plots without bidding [19];

accelerating the development of the institution of lease and redemption of land [20];

legislative support of providing land for specific agricultural production purposes: poultry, deer, pig, feed, grain, vegetable, potato, wine, industrial gardening and others [21];

accounting, monitoring, protection of valuable and productive agricultural lands [22];

application of advanced scientific developments and technological advances aimed at improving soil fertility [23].

The purpose of the study was to determine the dominant regions by integrated indicator of development of agro-industrial complex based on study of statistical dynamics for certain types of agricultural indicators over a long observation period.

### **Materials and methods**

A preliminary assessment of the effects of pursuing a policy of sustainable growth at the federal and regional levels was obtained by constructing histograms and diagrams (Figs. 1—6). Tibco's STATISTICA program was widely used as a software tool for processing initial information on the Russian market. For the purposes of the current study, the official version of STATISTICA 13.3 Academic EN was used. The officially published data of the Federal State Statistics Service [24] were the statistical base of the study.

To compare regions by a significant range of statistical indicators, taxonomic method can be successfully used. The Russian school of regional studies successfully applied it to solve the most important national economic issues of planning and managing territorial production complexes [13].

A descriptive analysis of statistical characteristics, which can be obtained by constructing various kinds of diagrams and calculating elementary mathematical quantities (for example, average values, deviations from average values), has well-known limitations and is mainly focused on formation of a priori judgments about the phenomenon

under study. For the purposes of conducting in-depth socio-economic studies, methods of multivariate statistical comparisons are quite popular both in Russia and abroad [25]. One of the successful examples of the use of multivariate analysis in the agricultural production management system is the use of cluster analysis. These methods are also relevant for conducting interregional comparisons, rating, and also for calculating accumulated potential of individual territorial units using a set of interrelated indicators [26—29].

Modern automation procedures for multidimensional statistical calculations allow compactly presenting large volumes of published agricultural data that characterize the regions of Russia. The theoretical basis of stages of cluster analysis, as well as possibility of using modern software products for statistical data processing, is widely discussed in specialized literature, therefore, the authors publish only the results of the study.

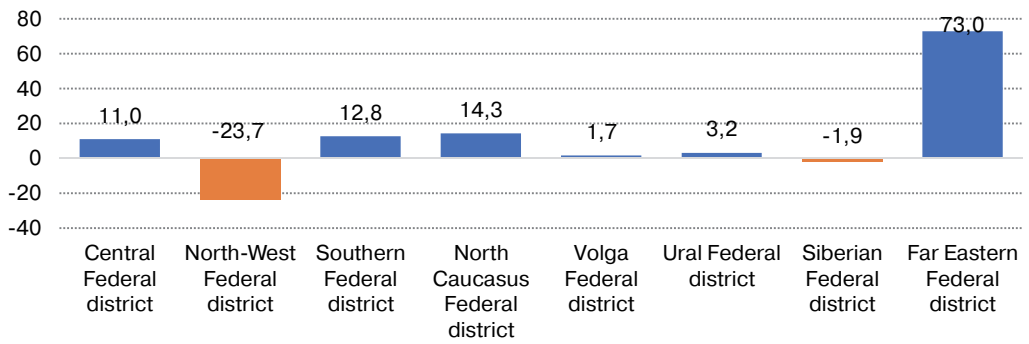
### Results and discussion

During the analyzed period, significant changes occurred in the structure of sown areas of agricultural structures (Fig. 1). In connection with the increase in Far East strategic importance in structure of economic and food security of the Russian Federation in the east of the country, the increase in agricultural land amounted to more than 70%. Moderate growth rates of 10...15% are characteristic for the territories of the Central Black Earth Region, the North Caucasus and the south of Russia. The area of agricultural land used in Central Siberia remained virtually unchanged. The significant retirement of agricultural land in the Northwest is of concern. Such negative changes are associated with low efficiency of the agro-industrial complex under adverse climatic influences. In this regard, it should also be added that the lands of the Northwestern Federal District account for less than 2% of the cultivated area of Russia.

The economy of sustainable growth requires intensification of all production factors [30, 31], including to increase crop yields. The latter is impossible without increasing fertilizer application (Fig. 2). As more than 70% of the Russian Federation territory is located in the North [32] and is associated with risk farming, yield growth is possible in two ways: artificial improvement of land quality and development of greenhouse system. At the same time, in the second direction, the Russian school of regional studies offers practical developments that can bring the productivity of the northern territories of Russia to the European level. For example, under the guidance of Chemodin Yu.A. (Candidate of Technical Science, associate professor, Department of Economic Theory and Management, State University of Land Management) a practical model “Year-round, guaranteed, risk-free provision of country's population with agricultural products by combining greenhouse complexes with alternative low-cost sources of energy, heat (co-generation) and cold (trigeneration)” was developed<sup>1</sup>.

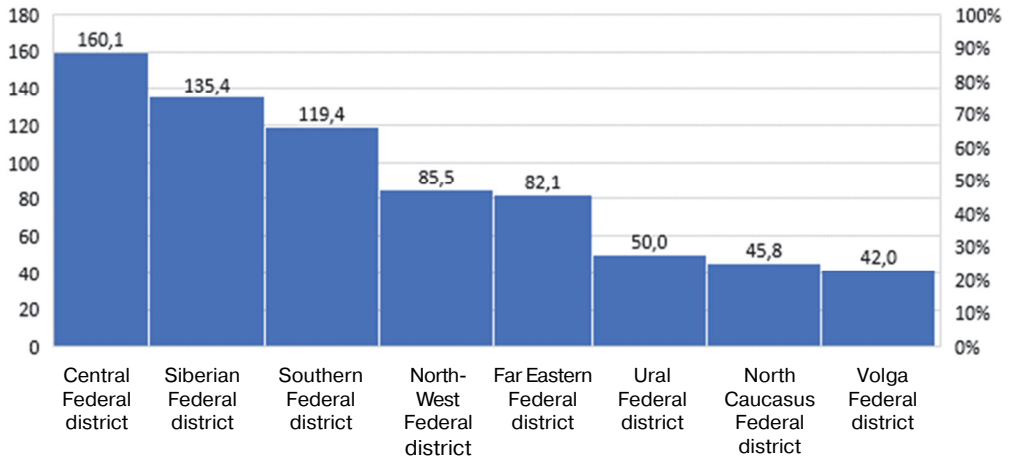
<sup>1</sup> In October 2017, a useful development was awarded the medal of the Golden Autumn Russian agro-industrial exhibition, and a corresponding application for registration of an invention was submitted to Rospatent in December 2017. In April 2018, the department team was awarded a silver medal in the competition “The Best Innovative Project of ArhimedSalon” by the International Jury at the XXI Moscow International Salon of Inventions and Innovative Technologies “Arhimed 2018”.

Changing the area of agricultural crops, %

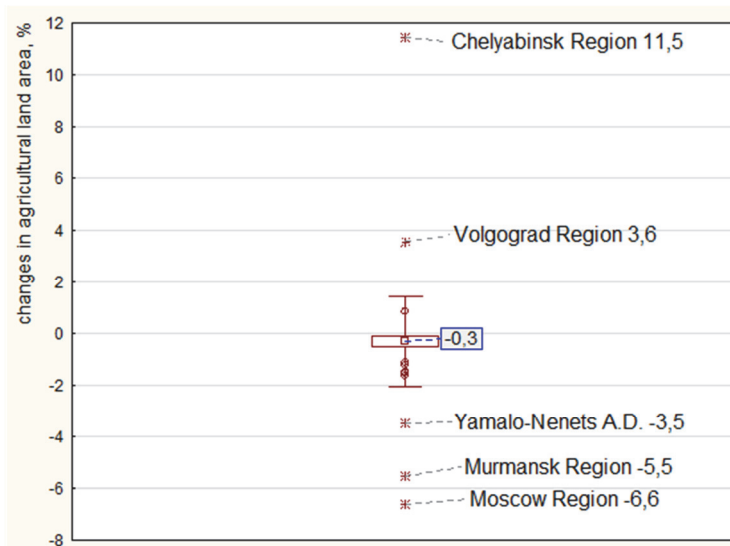


**Fig. 1.** Change of cropacreage in farms of all categories in 2005–2017

Fertilizers application growth rate, %



**Fig. 2.** Growth rates of mineral fertilizers (in terms of 100% nutrients) in 2005–2017



**Fig. 3.** Agricultural land dynamics in 2005–2017 (percentage)

In the regional context, changes in the area of agricultural land at the level of  $-0.3\%$  over 12 years throughout the country should be recognized as insignificant. Chelyabinsk and Volgograd regions are characterized by the greatest growth. Increase in construction pace and changing types of permitted land use resulted in significant reduction in agricultural land occurred in the Moscow Region (Fig. 3).

Emissions in the form of points on the graphs used indicate extreme values. In fig. 3, the Moscow and Murmansk regions with the maximum retirement of agricultural land in the amount of  $-6.6$  and  $-5.5\%$ , respectively, were among the extreme values (emissions). The maximum increase in the share of agricultural land in the total land fund of the region occurred in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in the amount of  $+11.5\%$ . 6 regions can be distinguished with a negative increase in agricultural land, the Republic of Kalmykia is only one subject of the Russian Federation with a positive increase ( $1\%$ ). Values for the remaining 73 regions are in the range from  $-0.5$  to  $-2.0\%$  with a median of  $-0.3\%$ .

Obviously, share of agricultural land retirement from circulation over the past ten-plus years in the vast majority of Russian regions is very small. Perhaps, an analysis of agricultural land by category or land by regions of the Russian Federation will help to interpret reasons for low profitability of this economical sector.

In absolute terms, the largest increase of agricultural land was recorded in the Volgograd region and the Republic of Kalmykia. The Moscow region, Altai region, Kemerovo region and the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra are leaders in agricultural land reduction at the regional level (Fig. 4).

According to the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, threshold values of food safety indicators provided for by the Food Safety Doctrine for grain, vegetable oil, sugar, meat and fish were met in 2018. The threshold indicators for milk and milk products, potatoes were not reached.

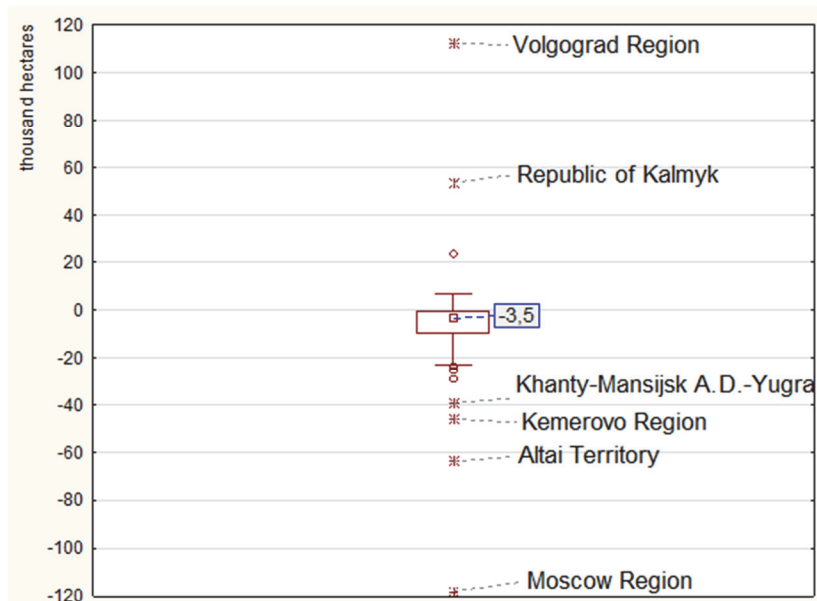
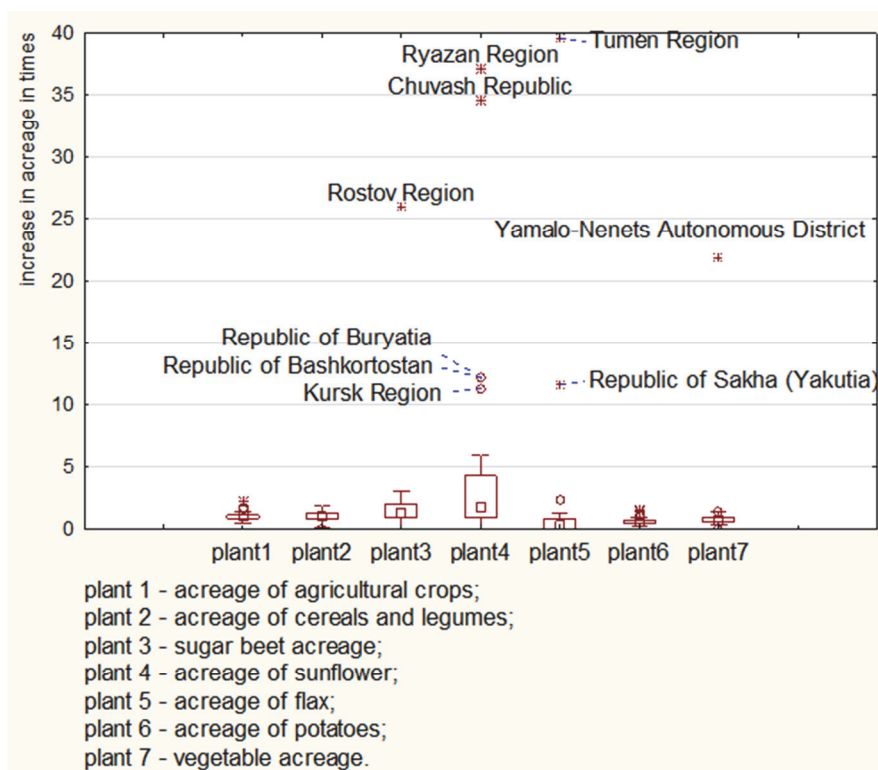


Fig. 4. Dynamics of agricultural land in 2005—2017 (thousands of hectares)

Currently, agricultural development is characterized by steady growth in agricultural exports, with growth faster than most other economical sectors. In 2018, growth in exports of food products and agricultural raw materials compared to the previous year amounted to 19%, reaching \$ 25.7 billion. The main growth was due to an increase in wheat exports by 39.5% (by \$ 3.0 billion), in which Russia ranks first in the world. The target growth rate for agricultural exports is up to \$ 45 billion by 2024.

The major work in agricultural production is carried out by residents of the countryside. It is important to ensure a comfortable standard of living in the village that meets modern requirements, attract young specialists to the countryside with possibility of continuous improvement of their skills, create conditions for recreation and leisure (sports, walking with children in landscaped areas and recreation areas, improving living conditions). Equally important is preservation of historical and cultural monuments, restoration of natural landscapes, solution of issues related to civilized collection of household waste and its disposal.

The dynamics of sown areas for the analyzed period may be characterized as weak. The Tyumen region, the Ryazan region, the Rostov region, the Yamalo-Nenets Autonomous District, the Republic of Buryatia, the Republic of Bashkortostan, the Kursk Region and the Republic of Sakha-Yakutia demonstrate success in agricultural production (Fig. 5).



**Fig. 5.** Dynamics of cultivated areas in 2005—2017

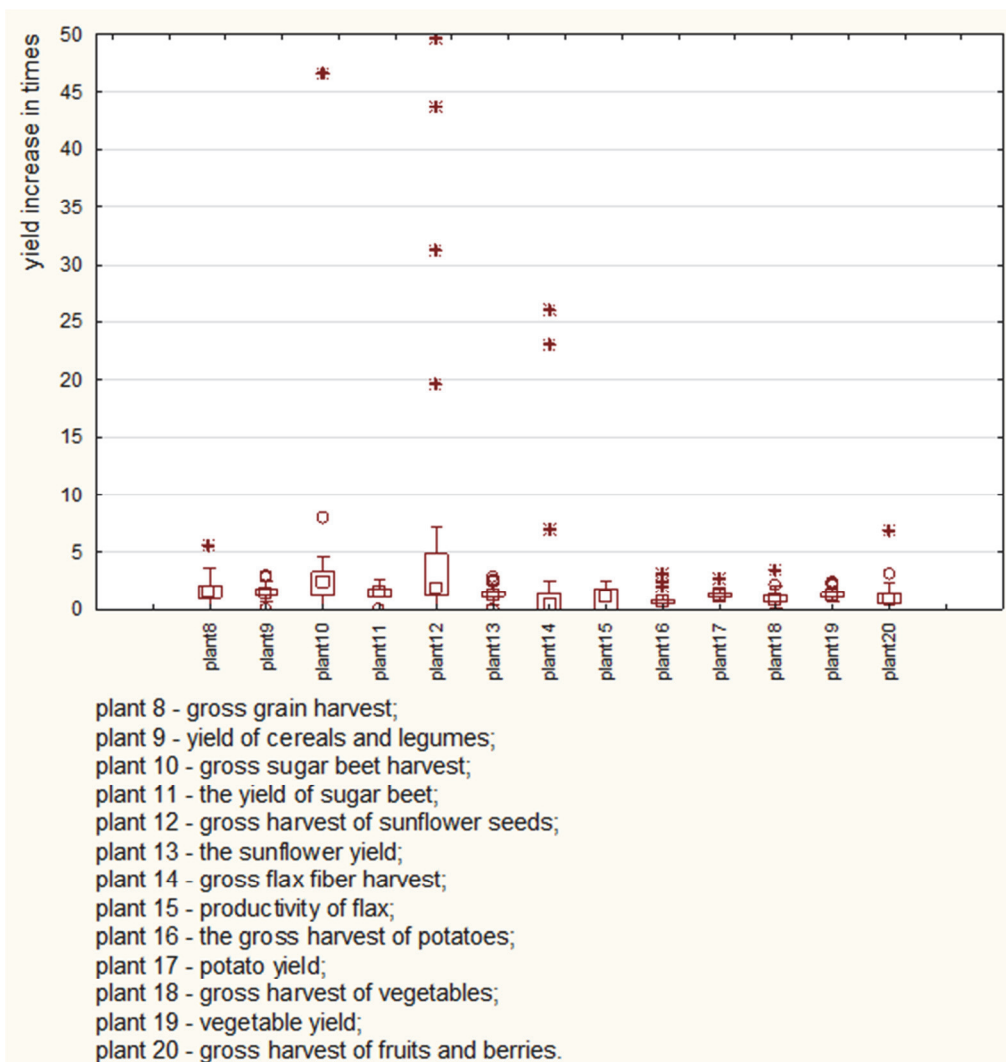


Fig. 6. Dynamics of crop yield in 2005—2017

The results presented on the graphs very clearly reflect not only dynamics of turnover of agricultural land throughout the country, but also efficient use of available land resources. Some regions have made significant progress in the development of agricultural production for the period from 2005 to 2017. The Volgograd region increased gross harvest of sugar beets by more than 45 times, the Kurgan region and the Omsk regions increased the gross harvest of flax fiber by more than 20 times, the Chechen Republic increased the gross harvest of sunflower seeds by a record 50 times (Fig. 6).

Oryol region increased sunflower growing area for the analyzed period from 0.1 thousand hectares in 2005 to 74.8 thousand hectares in 2017, therefore, the indicator was excluded for display on the graph. The region showed amazing dynamics in this indicator. Factors that testify to involvement of agricultural land in agro-industrial circulation allow us to speak about positive shifts in the processes of formation of trajectory of sustained sustainable development at the regional level.



Modernization of engineering infrastructure is necessary to ensure a modern standard of living and remain important for rural areas: construction and repair of roads, gas pipelines, water pipelines, and telecommunication networks. According to the Federal State Statistics Service for 2018, less than 40% of rural settlements are provided with central water supply, 35% of villages do not have an asphalt road, gasification rates for houses (apartments) with network gas are uneven across the country and averaged 60.3%.

In accordance with the Government's decree, from January 1, 2018, the implementation of the federal target program "Sustainable Development of Rural Areas for 2014—2017 and Until 2020" was terminated ahead of schedule. The program is integrated into the State Agro-Industrial Complex Program as a separate subprogram "Sustainable Development of Rural Areas". For the implementation of the subprogram in 2018, 17.1 billion rubles were allocated. from the federal budget, 12.5 billion rubles — from regional and local budgets, 5.0 billion rubles — from extra budgetary sources. Implementation of the subprogramme contributed to improving living conditions of citizens in rural areas.

Resource support for program activities does not provide pace of development of housing, social and engineering infrastructure of the village, network of roads necessary for implementation of serious qualitative changes in conditions of rural population.

The draft state program for integrated development of rural areas provides for a preferential mortgage of up to 3% per annum for purchase or construction of a house, as well as possibility of using a consumer loan for home improvement and for purchase of equipment for energy supply, water supply, sewage, heating. Russian credit organizations will be reimbursed for lost income in the amount of the Central Bank's key rate.

As part of direction to promote rural employment, compensation is provided for costs to agricultural producers who sent employees for additional training, support is provided for future specialists with targeted training and students undergoing practical training, as well as soft loans for creation and connection of facilities to engineering and transport infrastructure. The target indicator of rural employment should be 80%, and unemployment should be 5.7%.

The project provides for improvement of rural areas — 42 thousand projects (landscaped recreation areas, playgrounds and sports grounds, well-lit streets, sidewalks and bus stops).

Development of engineering and transport infrastructure is also one of the priorities of state policy and basis for improving rural life. The program provides for completion of construction and commissioning of gas pipelines, water pipelines, telecommunication networks, road networks (leading to socially significant objects of rural settlements, objects of production and processing of agricultural products), as well as a comprehensive arrangement of sites for compact housing in 2021.

To achieve these goals, the government plans to coordinate the state program with national projects and the country's Spatial Development Strategy.

According to the results of the study by the Ministry of Agriculture, more than 6 trillion rubles are needed to solve the priority tasks of rural territories:

2.1 trillion rubles — development of engineering infrastructure;

2 trillion rubles — improving the quality of road infrastructure;

900 billion rubles — improvement of housing conditions;

950 billion rubles — development of education, increasing accessibility of cultural facilities, expanding access to sports facilities, developing a healthcare system.

A number of targets are planned in the draft State Program, including increasing well-being of rural population in terms of the ratio of the average monthly disposable resources of rural and urban households to 80% (currently 68%); improvement of the housing stock of the rural population in terms of the proportion of residential premises provided with all types of utilities to the level of 50% (currently 32.5%); maintaining the share of the rural population in the total population of Russia (currently about 35%).

As a result of intensification of urbanization processes throughout the regions, the area of agricultural land is decreasing. A separate role in this process is played by cities of federal significance: Moscow, St. Petersburg and Sevastopol. For example, in connection with administrative transformations in Moscow, the area of agricultural land changed from 2.1 thousand hectares in 2012 to 48.9 thousand hectares in 2017.

The main descriptive statistics on the land fund of the regions are given in table 1. Cities of federal significance as Moscow, St. Petersburg and Sevastopol were previously excluded, therefore, number of observations was 82, and they were disclosed in 7 variables.

Table 1

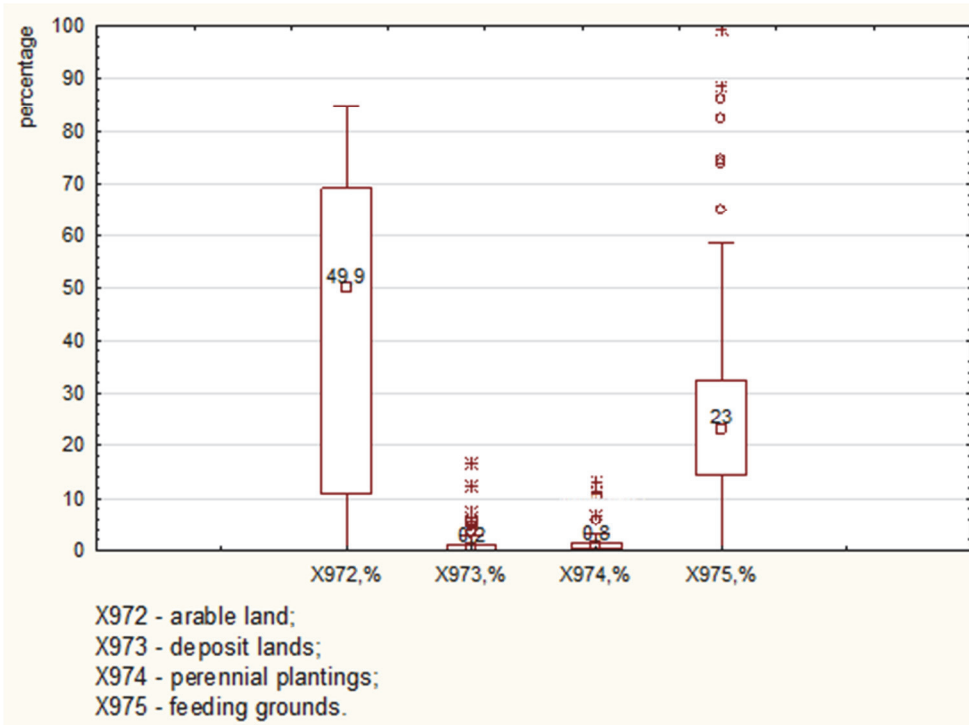
**Land distribution of regional economic systems by categories**

Index	Legend for a land category						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Mean	4 679.7	242.0	211.4	573.5	13 735.6	342.1	1 094.0
Median value	2 347.4	216.6	74.7	80.4	2 014.5	69.0	145.7
Standard deviation	7 219.9	159.3	561.5	1 755.0	34 784.0	979.0	4 094.1
Amount	383 738.3	19 844.6	17 337.1	47 032.8	1 126 320.3	28 054.8	89 708.4
Minimum value	150.9	12.4	6.7	0	0	0	0.3
Maximum value	39 760.5	738.4	4 918.2	12 225.3	252 820.3	7 814.3	30 310.2
Lower quartile	1 450.3	111.4	46.2	11.4	457.6	12.2	30.8
Upper quartile	4 529.2	361.8	196.6	370.6	10 257.8	217.1	601.6

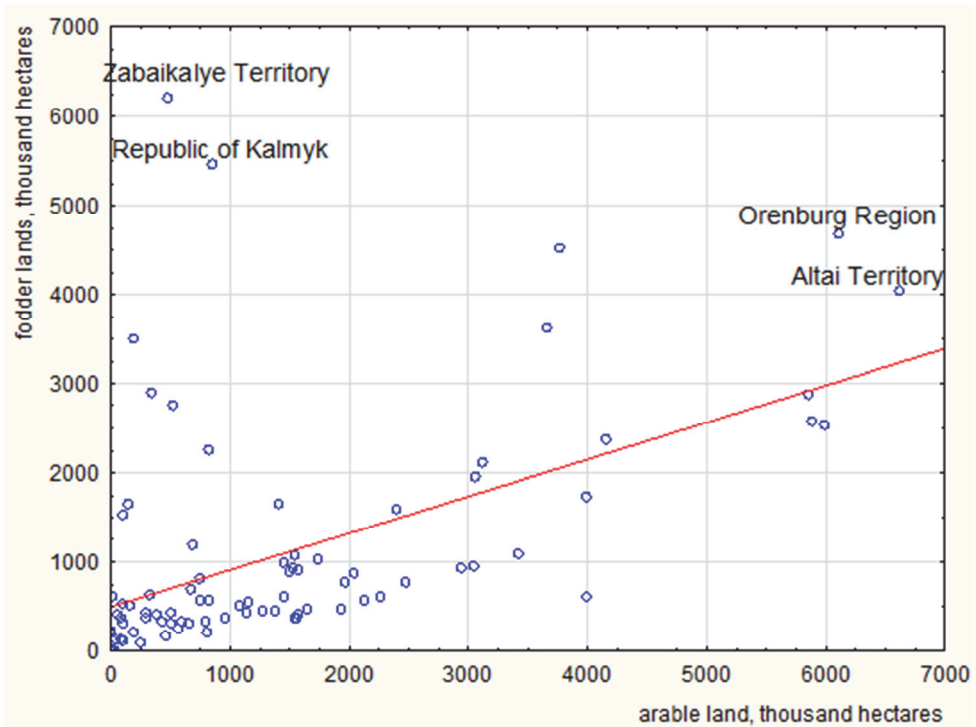
Note. I — agricultural land; II — lands of settlements; III — lands for industry and other purposes; IV — lands of specially protected territories and objects; V — lands of the forest fund; VI — lands of the water fund; VII — land reserve.

Most regions have arable land fund formed in the 20th century, designed to ensure food security of the population. The largest share of land left for a while without cultivation in order to restore their fertility is in the Republic of Mari El (17%), Pskov and Bryansk regions (12 and 8%, respectively). The largest land areas occupied by perennial plantings are located in cities of federal significance, as well as in the Murmansk and Moscow regions. The strongest differentiation is observed in relation to fodder land distribution, so in the Nenets Autonomous Okrug their share is 99% of the total agricultural land. In the diagram below, the block boundaries take 25...75% of values for all the regions (Fig. 7).

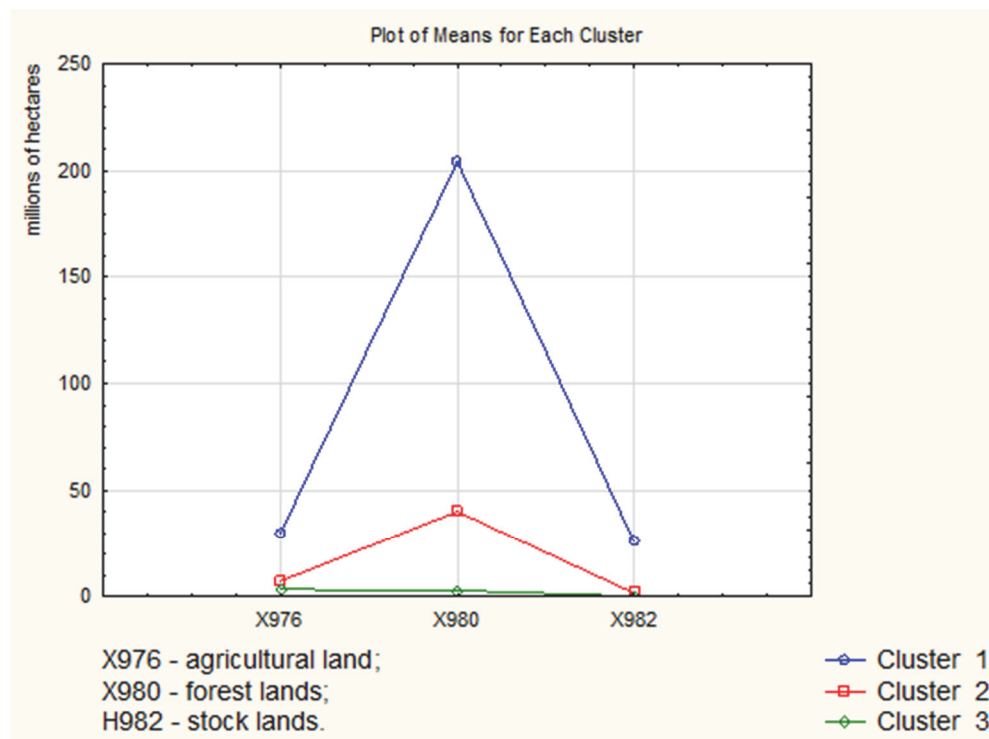
In the structure of agricultural land (Fig. 8), the largest share is occupied by arable land, they make up half of all farmland. The third part of the land is occupied by fodder plantings. The share of lands occupied by perennial plantations and deposits in the structure of agricultural lands is insignificant.



**Fig. 7.** Distribution of agricultural land in four categories



**Fig. 8.** Ratio of arable and forage land as main categories of agricultural land



**Fig. 9.** Graph of average values of land area in a regional context

According to the total area of land occupied by arable land and fodder land, among the regions we can distinguish the Transbaikal region, the Republic of Kalmykia, the Orenburg region and the Altai region (Fig. 9).

For forming a grouping of regions according to degree of agro-industrial potential, three indicators were taken into account — area of agricultural land, forest fund land and reserve land. The grouping of regions by other variables did not pass the test for statistical significance of considered variables in the cluster analysis.

Interpretation of Fig. 9 is given in table 2. The regions included in the first and second clusters have the largest land resources for further intensification of agricultural development. The area of agricultural land can be increased due to a significant share of forest land.

Thus, the constituent entities of the Russian Federation are initially specific for available land and property potential. The administrative management of the regional system is based on land management for sustainable socio-economic development.

In order to identify uniformity of agro-industrial development, a taxonomic model of agro-industrial potential of the regions was constructed by summarizing 22 statistical indicators (Table 3) published by Rosstat in a regional context.

The taxonomic development indicator is so-called synthetic indicator, which equally characterizes variables under consideration for the entire set of territorial units, which allows linear ordering of variables included in the analysis and ranking of objects of observation with arithmetic procedures.

Table 2

**Subjects of the Russian Federation with significant land resources  
for further agricultural development**

Number in decreasing order of place in the overall ranking	Regions	X976	X980	X982
Regions with significant land resources				
1	Krasnoyarsk region	39.8	155.6	30.3
2	Republic of Sakha (Yakutia)	19.4	252.8	21.4
Regions with average Russian indicators of land provision				
1	Komi Republic	1.9	36.0	0.6
2	Transbaikal region	8.0	31.9	1.2
3	Kamchatka Krai	0.2	44.2	0.7
4	Magadan region	0.3	44.6	0.3
5	Amurskaya region	3.5	30.6	0.8
6	Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra	0.6	48.7	2.0
7	Tomsk region	2.0	28.6	0.5
8	Republic of Buryatia	2.8	26.9	0.6
9	Arkhangelsk region	2.3	27.1	3.9
10	Yamal-Nenets Autonomous Okrug	30.5	31.7	5.0
11	Irkutsk region	2.9	69.3	0.5
12	Khabarovsk region	0.4	73.7	1.4
13	Chukotka Autonomous Okrug	39.4	27.6	4.2
Regions not adequately provided with land for agro-industrial development				
14—82	All other subjects of the Russian Federation			

Table 3

**The system of used statistical indicators**

№	Index
X1	Agricultural production in farms of all categories (in actual prices), mln. roubles
X2	Indices of agricultural production in farms of all categories (in comparable prices; as a percentage of the previous year), %
X3	Indices of crop production in farms of all categories (in comparable prices; as a percentage of the previous year), %
X4	Livestock production indices in farms of all categories (in comparable prices; as a percentage of the previous year), %
X5	Balanced financial result (profit minus loss) of crop production organizations according to financial statements, mln. roubles
X6	Balanced financial result (profit minus loss) of livestock organizations according to financial statements, mln. roubles
X7	Profitability of sold goods (works, services), crop production, %
X8	Profitability of sold goods (works, services), livestock products, %
X9	Yield of grain and leguminous crops in weight after refinement in farms of all categories (centners from one hectare of harvested area), c
X10	Potato yield on farms of all categories; centners from one hectare of cleaned area, c
X11	Vegetable productivity on farms of all categories; centners from one hectare of cleaned area, c
X12	Application of mineral fertilizers per 1 ha of sowing crops in agricultural organizations (in terms of 100% of nutrients), kg
X13	Application of organic fertilizers per 1 ha of sowing crops in agricultural organizations, t
X14	Number of cattle in farms of all categories at the end of the year, thousand heads
X15	Number of pigs in farms of all categories at the end of the year, thousand heads
X16	Number of sheep and goats in farms of all categories at the end of the year, thousand heads
X17	Cattle and poultry production for slaughter (in slaughter weight) in farms of all categories, thousand tons
X18	Milk production in farms of all categories, thousand tons
X19	Egg production on farms of all categories, million units
X20	Wool production in farms of all categories (in physical weight), t
X21	Honey production in farms of all categories, t
X22	Feed consumption per one conditional head of cattle in agricultural organizations (centners of feed units), c

The study was carried out in the following stages:

1. Collection of statistical indicators and bringing them to a comparable form.  
 2. After preliminary preparation of the initial data, a matrix of regional indicators was formed and standardization was carried out.

3. The procedure for standardization of variables is accompanied by an inevitable loss of information, therefore, to increase the influence of some variables and reduce the influence of others, coefficients of hierarchy of variables were introduced.

4. The variables were differentiated into positive and negative to calculate individual deviations from the reference for each parameter being evaluated. A similar separation was based on determining the point  $P_0$  with coordinates

$$z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0n} \quad (1)$$

for  $z_{0s} = \max_r z_{rs}$ , if  $s \in I$ ,  $z_{0s} = \min_r z_{rs}$ , if  $s \notin I$  ( $s = 1, \dots, n$ ), where  $I$  is the set of positively influencing and negatively influencing (negative) variables;  $z_{rs}$  is the standardized value of the attribute  $s$  for unit  $r$ .

5. Determination of the distance  $c_{i0}$  as the distance between the individual values of variables and values of  $P_0$ , which are the reference by the formula

$$c_{i0} = \left[ \sum_{s=1}^n (z_{is} - z_{0s})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (i = 1, \dots, w). \quad (2)$$

6. The distances  $c_{i0}$  thus obtained are the basis for calculating the indicator of the level of development of the region  $d_i^*$ , defined as

$$d_i^* = \frac{c_{i0}}{c_0}, \quad (3)$$

where  $c_0 = \bar{c}_0 + 2S_0$ ,  $\bar{c}_0 = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w c_{i0}$ ,  $S_0 = \left[ \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w (c_{i0} - \bar{c}_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ .

The final indicator  $d_i^*$  serves as an integral characteristic of the regions according to the totality of the considered indicators and is characterized by a value tending to zero.

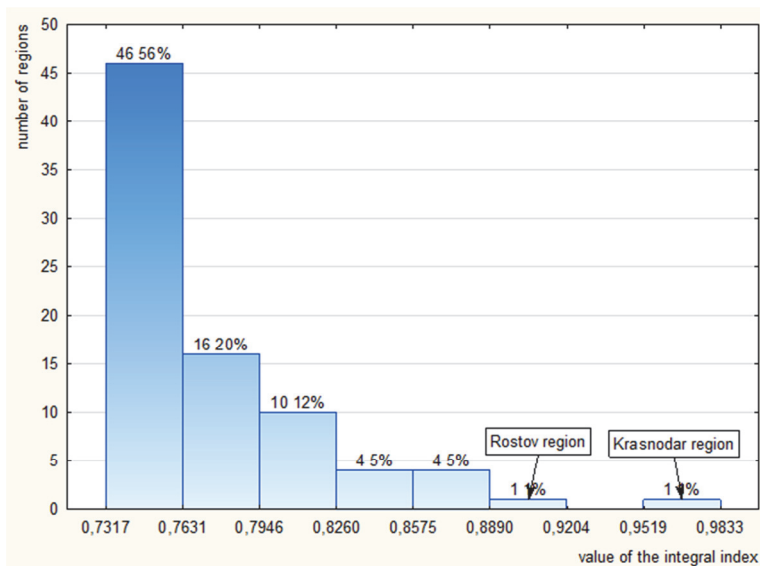
7. The reverse value is considered more informative, showing the closer the indicator to unity, the higher the level of socio-economic development of the region.

$$d_i = 1 - \frac{c_{i0}}{c_0}. \quad (4)$$

Using the integral indicator obtained by the taxonomic method, it is possible to evaluate the achievement by an individual region at a particular point in time of the average value of the indicators in question. For the purposes of reliability of the analysis, cities of federal significance were excluded, the number of regions participating in the analysis was 82 (Table 4).

At the last stage, a matrix of standardized variables, adjusted for the coefficient of hierarchy, was calculated. The result of the analysis was the construction of a ranking of regions by the level of development of agricultural production.

The results of rating building can be compactly displayed on a histogram by determining the number of intervals (groups) using the Sturges formula (Fig. 10).



**Fig. 10.** Distribution of regions according to the integrated index of agro-industrial development

The ranking of regions by relatively stable groups visually shows a significant gap between the Krasnodar Territory and the Rostov Region by the integral index, determining their dominant position in the agricultural specialization of the regions (Table 4). Due to the fact that the groups were selected at regular intervals, the second group was not present in the final rating, and none of the regions considered fell into the range of values.

Table 4

**Distribution of Russian regions by index of agro-industrial development**

Group place	Cross-cutting number in the overall ranking	Name of the subject of the Russian Federation	Rating Index
1 group			
1	1	Krasnodar region	0.9833
3 group			
1	2	Rostov region	0.9161
4 group			
1	3	Republic of Tatarstan	0.8849
2	4	Belgorod region	0.8831
3	5	Stavropol region	0.8691
4	6	Voronezh region	0.8666
5 group			
1	7	Republic of Bashkortostan	0.8428
2	8	Altai region	0.8378
3	9	Saratov region	0.8345
4	10	Volgograd region	0.8277
6 group			
1	11	Kursk region	0.8193
2	12	Chelyabinsk region	0.8131
3	13	Tambov region	0.8099

Continue of Table 4

Group place	Cross-cutting number in the overall ranking	Name of the subject of the Russian Federation	Rating Index
4	14	Orenburg region	0.8086
5	15	The Republic of Dagestan	0.8064
6	16	Lipetsk region	0.8040
7	17	Moscow region	0.8007
8	18	Samara region	0.7972
9	19	Krasnoyarsk region	0.7964
10	20	Leningrad region	0.7958
7 group			
1	21	Omsk region	0.7936
2	22	Novosibirsk region	0.7901
3	23	Penza region	0.7879
4	24	Bryansk region	0.7858
5	25	Nizhny Novgorod region	0.7807
6	26	Sverdlovsk region	0.7805
7	27	Oryol region	0.7785
8	28	Tyumen region	0.7783
9	29	Udmurtian Republic	0.7775
10	30	Republic of Crimea	0.7758
11	31	Irkutsk region	0.7746
12	32	Tula region	0.7719
13	33	Republic of Mordovia	0.7703
14	34	Kemerovo region	0.7693
15	35	Amursk region	0.7664
16	36	Ryazan region	0.7662
8 group			
1	37	Perm region	0.7619
2	38	Kabardino-Balkarian Republic	0.7603
3	39	Kurgan region	0.7602
4	40	Chuvash Republic	0.7601
5	41	Mari El Republic	0.7600
6	42	Primorsky Krai	0.7594
7	43	Ulyanovsk region	0.7583
8	44	Astrakhan region	0.7577
9	45	Kirov region	0.7573
10	46	Kaluga region	0.7566
11	47	Vladimir region	0.7554
12	48	Tver region	0.7544
13	49	Yaroslavl region	0.7541
14	50	Karachay-Cherkess Republic	0.7527
15	51	Kaliningrad region	0.7520
16	52	Vologodsk region	0.7518
17	53	Novgorod region	0.7515
18	54	Pskov region	0.7513
19	55	Tomsk region	0.7510
20	56	Republic of Kalmykia	0.7479
21	57	Republic of Ossetia — Alania	0.7476
22	58	Smolensk region	0.7475
23	59	Republic of Sakha (Yakutia)	0.7468
24	60	Khabarovsk region	0.7462
25	61	Kostroma region	0.7457
26	62	Transbaikal region	0.7456
27	63	Republic of Adygea	0.7456
28	64	Chechen Republic	0.7455
29	65	Ivanovo region	0.7431
30	66	Republic of Buryatia	0.7429



End of Table 4

Group place	Cross-cutting number in the overall ranking	Name of the subject of the Russian Federation	Rating Index
31	67	Republic of Khakassia	0.7421
32	68	Arkhangelsk region	0.7399
33	69	Altai Republic	0.7398
34	70	Sakhalin region	0.7395
35	71	Komi Republic	0.7388
36	72	Kamchatka Krai	0.7374
37	73	Republic of Ingushetia	0.7371
38	74	Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Ugra	0.7371
39	75	Jewish Autonomous region	0.7359
40	76	Tuva Republic	0.7356
41	77	Republic of Karelia	0.7350
42	78	Magadan Region	0.7332
43	79	Murmansk region	0.7326
44	80	Yamal-Nenets Autonomous Okrug	0.7326
45	81	Nenets Autonomous Okrug	0.7321
46	82	Chukotka Autonomous Okrug	0.7317

### Conclusions

The research confirmed uneven agro-industrial potential of the regions in the Russian Federation. The most developed in this regard can be recognized as the southern regions, the least developed are the northern ones, which is quite logical and logical, given that more than 70% of the country's territory is located in the North.

Achieving the goals set for agricultural sector will contribute to a serious improvement in quality of countryside life.

As level of agricultural development in most of Russia is low, the following measures are required: comprehensive diversification of regional economic systems, support and development of farm types of production, traditional types of crafts, elimination of administrative restrictions on implementation of products produced in rural areas, creation of affordable conditions for financial equalization transformations, information support of labor activity, infrastructural support of agribusiness processes, increasing interest and economic literacy of the population.

### Введение

Агропромышленный комплекс в современных российских условиях является важнейшим социально-экономическим ресурсом страны, значение которого все возрастает в условиях усиления роли природных факторов в системе устойчивого развития цивилизации.

Траектория развития сельских территорий характеризуется крайней неравномерностью. Даже с учетом достигнутых показателей роста агропромышленного производства после кризисных 2008—2009 гг. можно констатировать значительное отставание качества и уровня жизни сельского населения от городского. Происходит увеличение разрыва в инновационной [1], инвестиционной, информационной составляющей общественного развития [2]. Наблюдается деградация культурной и социальной инфраструктуры [3—5]. Эти и другие неблагоприятные факторы

приводят к неудовлетворительной структуре фондов агропромышленного производства. Все более значительно проявляется негативное влияние миграционных процессов, выраженное в отрицательном миграционном сальдо для сельских территорий [6—8]. Происходит безвозвратная утрата результатов труда освоения обширных и в прошлом благополучных территорий, вымывается имевший место в прошлом агропромышленный потенциал [9—11].

Недостаточное развитие аграрного производства в современной России сдерживает проведение одной из важнейших реформ в постсоветской России — земельной, начавшейся еще три десятилетия назад, предусматривающей замену колхозов и совхозов в качестве сельскохозяйственных товаропроизводителей на сотни тысяч фермеров и самостоятельно владеющих собственной землей крестьян. Приватизация сельскохозяйственных земель и предоставление их тем, кто хочет и может их обрабатывать, казалась очевидной необходимостью [12].

В настоящее время в отношении земельных участков сельскохозяйственного назначения первостепенными все еще продолжают оставаться задачи:

обеспечения стабильности земельного законодательства и единства проводимой на территориальном уровне земельной политики [13, 14];

разработки эффективных информационно-аналитических средств учета и контроля за состоянием земельного фонда в стране в разрезе субъектов Российской Федерации, цифровой трансформации и цифровизации земельного рынка [15];

повышения качества и расширения комплекса оказываемых органами государственной власти услуг, обеспечения информационной доступности показателей земельного рынка для всех заинтересованных его участников [16];

завершения процесса создания Единого государственного реестра недвижимости, многократного увеличения содержащихся в нем данных как в пространственном, так и во временном аспекте, повышения их достоверности [17];

реализации прав собственников земельных долей (паев), расширения возможностей их использования в гражданском обороте;

совершенствования механизма изъятия земли через вовлечение в аграрное производство земельных участков из земель сельскохозяйственного назначения при их неиспользовании, ненадлежащем использовании или использовании не по назначению;

создания единого для всех субъектов методологического подхода допустимого государственного вмешательства в частную собственность для скорейшего разрешения накопленных противоречий рыночного института изъятия земельных участков для государственных и муниципальных нужд [18];

разработки обеспечительных мер для доступа к земельным участкам федерального, регионального и муниципального значения, а также административного сокращения числа случаев предоставления земельных участков без торгов [19];

ускорения развития института аренды и выкупа земельных участков [20];

законодательного обеспечения процесса предоставления земельных участков для отдельных целей агропромышленного производства: птицеводства, оленеводства, свиноводства, производства кормов, зернового хозяйства, овощеводства, картофелеводства, виноделия, промышленного садоводства и других [21];

учета, мониторинга, охраны ценных и продуктивных сельскохозяйственных земель [22];

применения передовых научных разработок и достижений техники, направленных на повышение плодородия почв [23].

**Цель исследования** — определение доминирующих регионов по интегральному показателю развития АПК на основе исследования статистической динамики по отдельным видам сельскохозяйственных показателей за продолжительный период наблюдений.

### **Материалы и методы**

Предварительная оценка эффектов от проведения политики устойчивого роста на федеральном и региональном уровнях получена путем построения гистограмм и диаграмм размаха (рис. 1—6). В качестве программного средства для обработки исходной информации широкую популярность на российском рынке получила программа STATISTICA компании Tibco. Для целей текущего исследования была использована официальная версия STATISTICA 13.3 Academic EN. В качестве статистической базы проводимого исследования выступали официально публикуемые данные Федеральной государственной службы статистики [24].

Для сопоставления регионов по значительному кругу статистических показателей можно успешно использовать таксонометрический метод. Отечественная школа региональных исследований успешно применяла его для решения важнейших народнохозяйственных вопросов планирования и управления территориально-производственными комплексами [13].

Описательный анализ статистических характеристик, который может быть получен с помощью построения различного рода диаграмм и вычисления элементарных математических величин (например, среднего значения, отклонения от среднего значения), имеет известные ограничения и ориентирован большей частью на формирование априорных суждений об изучаемом явлении. Для целей проведения углубленных социально-экономических исследований достаточно популярными как в России, так и за рубежом, являются методы многомерных статистических сопоставлений [25]. Одним из удачных примеров использования многомерного анализа в системе управления агропромышленным производством авторы видят использование кластерного анализа. Актуальными эти методы являются и для проведения межрегиональных сопоставлений, рейтингования, а также расчета накопленного потенциала отдельных территориальных единиц по комплексу взаимосвязанных показателей [26—29].

Современные процедуры автоматизации многомерных статистических вычислений позволяют компактно представить большие массивы публикуемых сельскохозяйственных данных, которыми характеризуются регионы России. Теоретическая основа этапов кластерного анализа, как и возможность применения для статистической обработки данных современных программных продуктов, широко освещается в специальной литературе, поэтому авторами публикуются только результаты проведенного исследования.

## Результаты и обсуждение

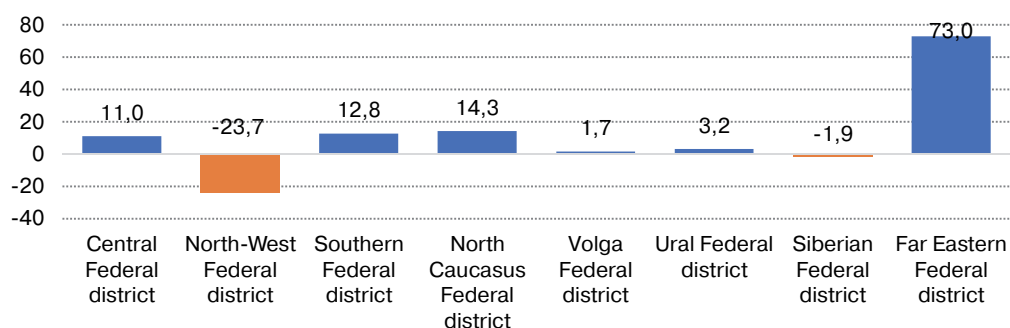
За анализируемый период в структуре посевных площадей сельскохозяйственных структур произошли значительные изменения (рис. 1). В связи с увеличением стратегической значимости Дальнего Востока в структуре экономической и продовольственной безопасности Российской Федерации на востоке страны увеличение площади сельскохозяйственных земель составило более 70%. Умеренными темпами роста в размере 10—15% характеризуются территории Центрального Черноземья, Северного Кавказа и юга России. Практически без изменения остались площади используемых сельскохозяйственных земель на территории Центральной Сибири. Вызывает озабоченность значительное выбытие сельскохозяйственных земель на Северо-Западе. Такие негативные изменения связаны с низкой эффективностью агропромышленного комплекса в условиях неблагоприятных климатических воздействий. В этой связи следует также добавить, что земли Северо-Западного федерального округа составляют менее 2% посевных площадей России.

Экономика устойчивого роста требует интенсификации всех факторов производства [30, 31], направленной в т.ч. на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Последнее невозможно без увеличения объемов внесения минеральных удобрений (рис. 2). Необходимо помнить, что более 70% территории РФ расположено в зоне Севера [32] и связано с рискованной земледелием, поэтому прирост урожайности возможен двумя путями: искусственное улучшение качества земель и развитие системы тепличных хозяйств. При этом по второму направлению отечественной школой региональных исследований предлагаются практические разработки, способные вывести урожайность северных территорий России на европейский уровень. Например, под руководством канд. техн. наук, доцента Ю.А. Чемодина на кафедре экономической теории и менеджмента Государственного университета по землеустройству разработана практическая модель «Круглогодичное, гарантированное, безрисковое обеспечение населения стран продукцией сельского хозяйства путем совмещения тепличных комплексов с альтернативными дешевыми источниками энергии, тепла (когенерация) и холода (тригенерация)»<sup>2</sup>.

В региональном разрезе изменения площади сельскохозяйственных земель на уровне –0,3% за 12 лет в масштабах всей страны следует признать незначительными. Наибольшим приростом характеризуются Челябинская и Волгоградская области. В связи с увеличением темпов строительства и процессов изменения типов разрешенного использования земель произошло значительное сокращение сельскохозяйственных земель в Московской области (рис. 3).

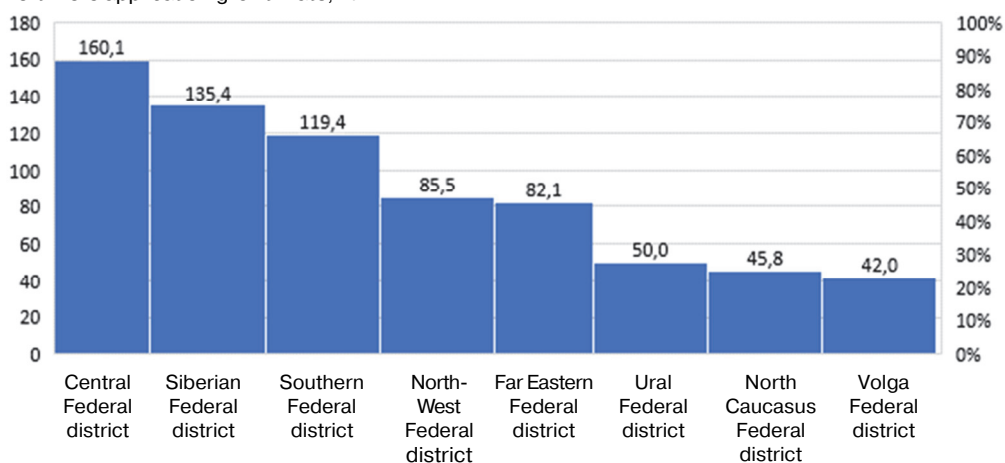
<sup>2</sup> В октябре 2017 г. полезная разработка была отмечена медалью Российской агропромышленной выставки «Золотая осень», в декабре 2017 г. представлена соответствующая заявка на регистрацию изобретения в Роспатент. В апреле 2018 г. Международным жюри на XXI Московском международном салоне изобретений и инновационных технологий „Архимед 2018“ в конкурсе «Лучший инновационный проект Салона „Архимед“» коллектив кафедры награжден серебряной медалью.

Changing the area of agricultural crops, %

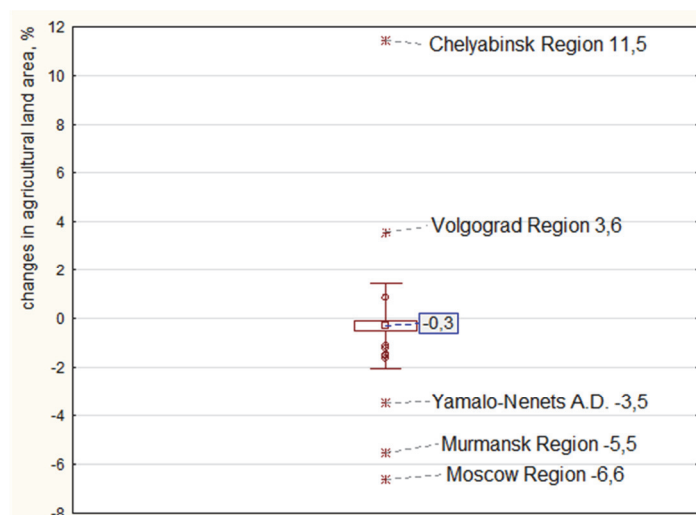


**Рис. 1.** Изменение посевных площадей сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий за период 2005—2017 гг.

Fertilizers application growth rate, %



**Рис. 2.** Темпы роста минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) за период 2005—2017 гг.



**Рис. 3.** Динамика изменения площади сельскохозяйственных земель за период 2005—2017 гг. в относительном выражении

Выбросы в виде точек на используемых графиках отмечают экстремальные значения. На рис. 3 в число экстремальных значений (выбросов) вошли Московская и Мурманская области с максимальным выбытием сельскохозяйственных земель из оборота в размере  $-6,6$  и  $-5,5\%$  соответственно. Максимальный прирост доли сельскохозяйственных земель в общем земельном фонде региона произошел в Ямало-Ненецком АО в размере  $+11,5\%$ . С отрицательным приростом площади сельскохозяйственных земель можно выделить 6 регионов, с положительным, в размере  $1\%$ , — только один субъект РФ — Республику Калмыкия. Значения по оставшимся 73 регионам распределены в диапазоне от  $-0,5$  до  $-2,0\%$  с медианой  $-0,3\%$ .

Очевидно, что доля выбытия сельскохозяйственных земель из оборота за последние десять с лишним лет в подавляющем большинстве регионов России весьма незначительна. Возможно, анализ сельскохозяйственных земель по категориям или угодьям в разрезе субъектов РФ позволит интерпретировать причины низкой рентабельности этой отрасли экономики.

В абсолютном выражении наибольший прирост сельскохозяйственных угодий отмечен в Волгоградской области и Республике Калмыкия. По темпам сокращения сельскохозяйственных угодий на уровне регионов лидируют Московская область, Алтайский край, Кемеровская область и Ханты-Мансийский автономный округ — Югра (рис. 4).

По данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, в 2018 г. пороговые значения показателей продовольственной безопасности, предусмотренные Доктриной продовольственной безопасности по зерну, растительному маслу, сахару, мясу и рыбе были выполнены. Не были достигнуты пороговые показатели по молоку и молокопродуктам, картофелю.

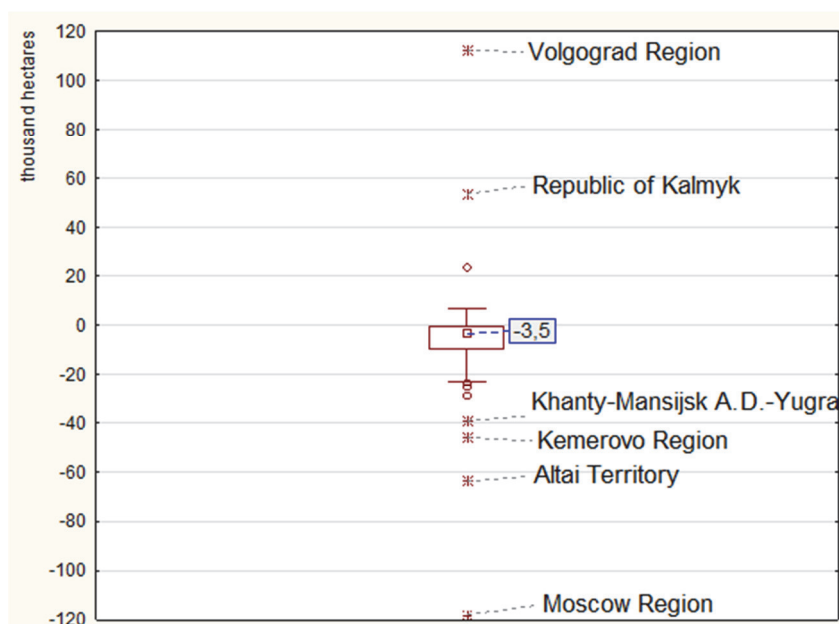


Рис. 4. Динамика изменения площади сельскохозяйственных земель за период 2005—2017 гг. в абсолютном выражении

В настоящее время развитие сельского хозяйства характеризуется устойчивыми темпами роста объемов экспорта сельскохозяйственной продукции, при этом рост быстрее большинства других отраслей экономики. В 2018 г. прирост экспорта продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья к предыдущему году составил 19%, достигнув 25,7 млрд долл. США. Основной рост произошел за счет увеличения экспорта пшеницы на 39,5% (на 3,0 млрд долл. США), по которой Россия занимает первое место в мире. Целевой показатель прироста объемов экспорта аграрного сектора — до 45 млрд долл. США к 2024 г.

Основная работа в сельскохозяйственном производстве выполняется жителями сельской местности. Важным является обеспечение комфортного уровня жизни на селе соответствующему современным требованиям, привлечение молодых специалистов в сельскую местность с возможностью постоянного повышения их квалификации, создание условий для отдыха и досуга (занятий спортом, прогулок с детьми на благоустроенных площадках и зонах отдыха, улучшение жилищных условий). Не менее важно сохранение исторических и культурных памятников, восстановление природных ландшафтов, решение вопросов, связанных с цивилизованным сбором бытовых отходов и их утилизацией.

Динамика посевных площадей за анализируемый период может характеризоваться как слабая. Успехи агропромышленного производства демонстрируют Тюменская область, Рязанская область, Ростовская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Бурятия, Республика Башкортостан, Курская область и Республика Саха-Якутия (рис. 5).

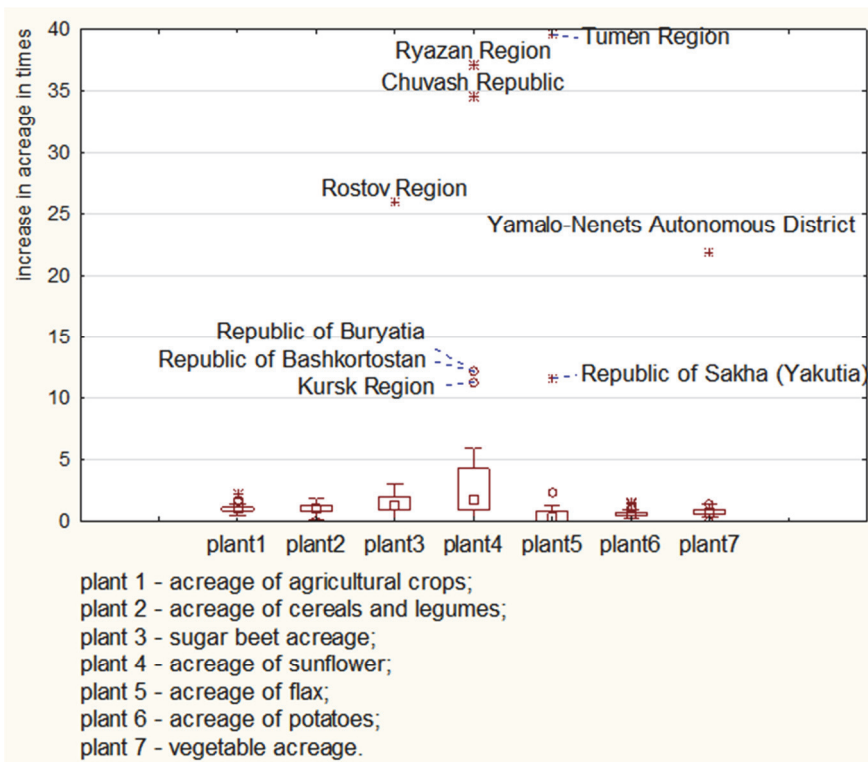


Рис. 5. Динамика посевных площадей 2005—2017 гг.

Представленные на графиках результаты весьма наглядно отображают не только динамику оборота сельскохозяйственных земель в масштабе всей страны, но и эффективность использования имеющихся земельных ресурсов. Отдельные регионы добились значительных успехов в развитии аграрного производства за период с 2005 по 2017 гг. Волгоградская область увеличила валовой сбор сахарной свеклы в более чем 45 раз, Курганская область и Омская области увеличили валовой сбор льноволокна в более чем 20 раз, Чеченская республика увеличила валовой сбор семян подсолнечника в рекордные 50 раз (рис. 6).

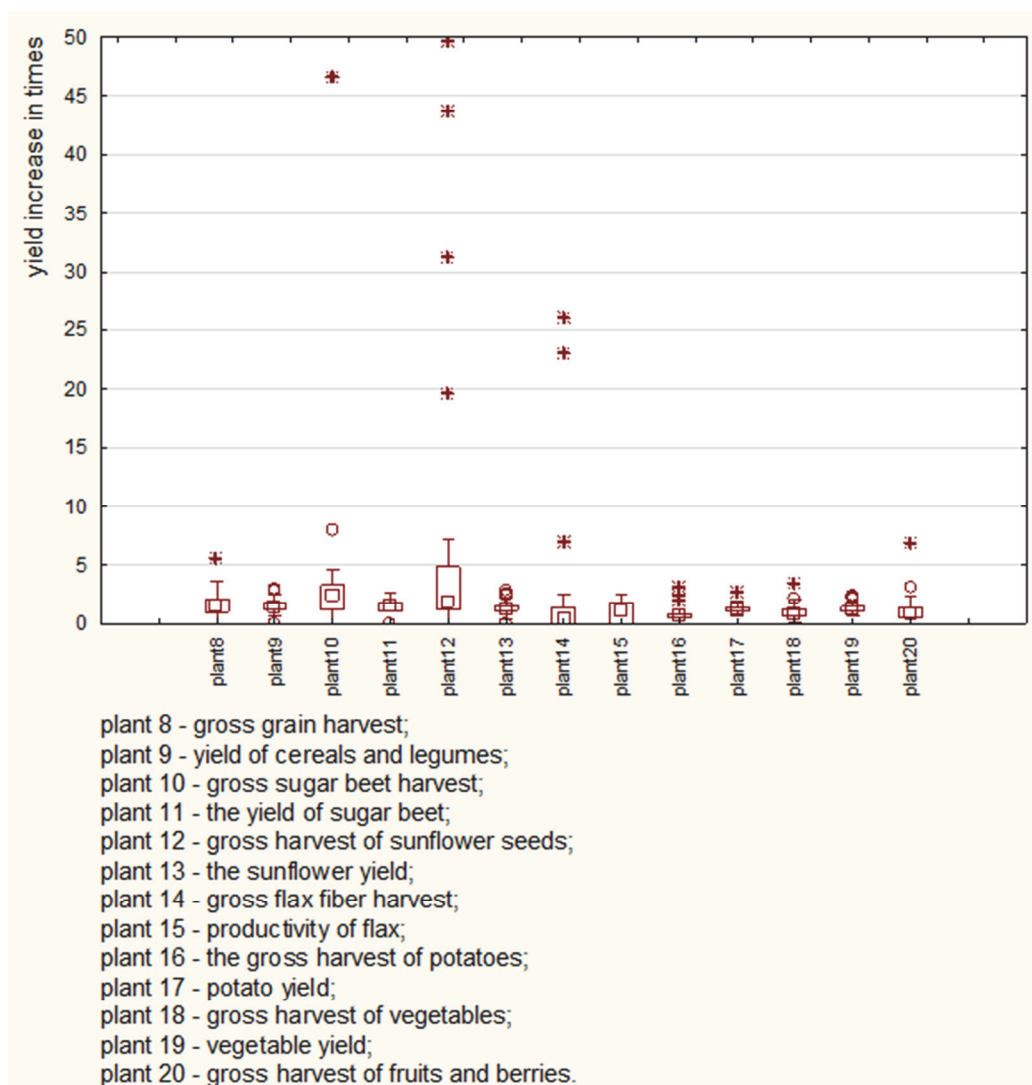


Рис. 6. Динамика урожайности сельскохозяйственных культур за 2005—2017 гг.

Орловская область увеличила посевные площади подсолнечника за анализируемый период с 0,1 тыс. га в 2005 г. до 74,8 тыс. га в 2017 г., поэтому показатель был исключен для отображения на графике размаха. Регион продемонстрировал поразительную динамику по данному показателю. Факторы, свидетельствующие



о вовлечении сельскохозяйственных земель в агропромышленный оборот, позволяют говорить о положительных сдвигах в процессах формирования траектории поступательного устойчивого развития на региональном уровне.

Важными для сельских территорий остаются вопросы модернизации инженерной инфраструктуры, необходимой для обеспечения современного уровня жизни: строительство и ремонт дорог, газопроводов, водопроводов, подведение телекоммуникационных сетей. По данным Росстата за 2018 г. центральным водоснабжением обеспечены менее 40% сельских населенных пунктов, у 35% сел нет асфальтированного подъезда, показатели газификации домов (квартир) сетевым газом неравномерны по стране и в среднем составили 60,3%.

В соответствии с постановлением Правительства с 1 января 2018 г. досрочно прекращена реализация федеральной целевой программы «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014—2017 годы и на период до 2020 года». Программа интегрирована в Госпрограмму АПК в качестве отдельной подпрограммы «Устойчивое развитие сельских территорий». На реализацию подпрограммы в 2018 г. было выделено 17,1 млрд р. из федерального бюджета, 12,5 млрд р. из средств региональных и местных бюджетов, 5,0 млрд р. из внебюджетных источников. Реализация подпрограммы способствовала улучшению условий жизни граждан в сельской местности.

Ресурсное обеспечение программных мероприятий не обеспечивает темпы развития жилищной, социальной и инженерной инфраструктуры села, сети автомобильных дорог, необходимых для осуществления серьезных качественных сдвигов в условиях жизнедеятельности сельского населения.

Проект государственной программы по комплексному развитию сельских территорий предусматривает льготную ипотеку до 3% годовых на покупку или строительство дома, а также возможность использования потребительского кредита на благоустройство домов и на приобретение оборудования для энергоснабжения, водоснабжения, канализации, отопления. Российским кредитным организациям будут возмещаться недополученные доходы в размере ключевой ставки Центробанка.

В рамках направления по содействию занятости сельского населения предусмотрена компенсация затрат сельхозпроизводителям, направивших сотрудников на дополнительное обучение, предусмотрена поддержка будущих специалистов при целевом обучении и студентов, проходящих производственную практику, а также льготное кредитование создания и подключения объектов к инженерной и транспортной инфраструктуре. Целевой показатель уровня занятости в сельской местности должен составить 80%, а безработицы — 5,7%.

В проекте предусмотрено благоустройство сельских территорий — 42 тысячи проектов (благоустроенные зоны отдыха, детские и спортивные площадки, хорошо освещённые улицы, тротуары и автобусные остановки).

Развитие инженерной и транспортной инфраструктуры также является одной из приоритетных задач государственной политики и основой для улучшения жизни на селе. Программой предусмотрено завершение строительства и ввод в эксплуатацию в 2021 г. газопроводов, водопроводов, подведение телекомму-

никационных сетей, сети автомобильных дорог (ведущих к общественно значимым объектам сельских населенных пунктов, объектам производства и переработки сельскохозяйственной продукции), а также комплексное обустройство площадок под компактную жилищную застройку.

Для достижения поставленных задач правительство планирует согласовать государственную программу с национальными проектами и Стратегией пространственного развития страны.

Согласно результатам исследования Минсельхоза для решения первоочередных задач сельских территорий требуется более 6 трлн р.:

на развитие инженерной инфраструктуры 2,1 трлн р.;

повышение качества дорожной инфраструктуры 2 трлн р.;

улучшение жилищных условий 900 млрд р.;

развитие образования, повышение доступности объектов культуры, расширение доступа к спортивным объектам, развитие системы здравоохранения 950 млрд р.

В проекте Госпрограммы запланирован ряд целевых показателей, в том числе повышение благосостояния населения сельской местности по показателю соотношения среднемесячных располагаемых ресурсов сельского и городского домохозяйств до 80% (в настоящее время 68%); повышение благоустройства жилого фонда сельского населения по показателю доли жилых помещений, обеспеченных всеми видами коммунальных услуг до уровня 50% (в настоящее время 32,5%); сохранение доли сельского населения в общей численности населения России (в настоящее время около 35%).

В результате усиления процессов урбанизации повсеместно в регионах происходит сокращение площади сельскохозяйственных земель. Отдельную роль в этом процессе играют города федерального значения: Москва, Санкт-Петербург и Севастополь. Например, в связи с административными преобразованиями в Москве площадь сельскохозяйственных земель изменилась с 2,1 тыс. га в 2012 г. до 48,9 тыс. га в 2017 г.

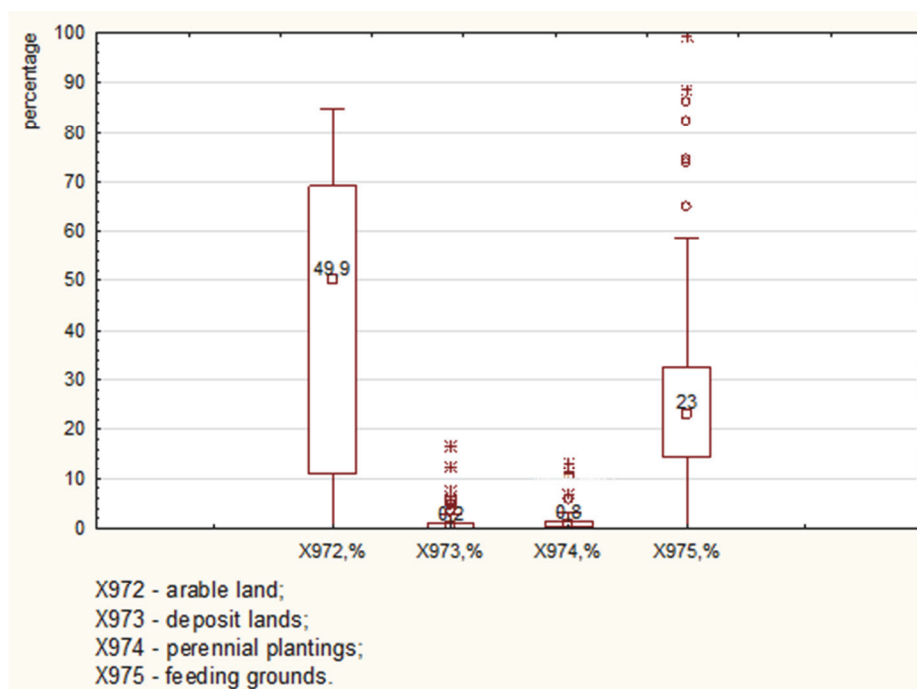
Основные описательные статистики по земельному фонду регионов приведены в табл. 1. Города федерального значения Москва, С.-Петербург и Севастополь предварительно были исключены, поэтому количество наблюдений — 82, и они раскрыты по 7 переменным.

В большинстве регионов с учетом климатических особенностей имеется сформированный в XX веке фонд пахотных земель, предназначенный для обеспечения продовольственной безопасности проживающего населения. Наибольший удельный вес земель, оставленных на время без обработки в целях восстановления их плодородия — в Республике Марий Эл (17%), Псковской и Брянской областях (12 и 8% соответственно). Наибольшие площади земель, занятые многолетними насаждениями, расположены в городах федерального значения, а также в Мурманской и Московской областях. Наиболее сильная дифференциация наблюдается в отношении распределения кормовых угодий, так, в Ненецком автономном округе их доля составляет 99% от всей площади сельскохозяйственных земель. На приведенной диаграмме размаха границы блоков отбивают 25...75% значений для всей совокупности регионов (рис. 7).

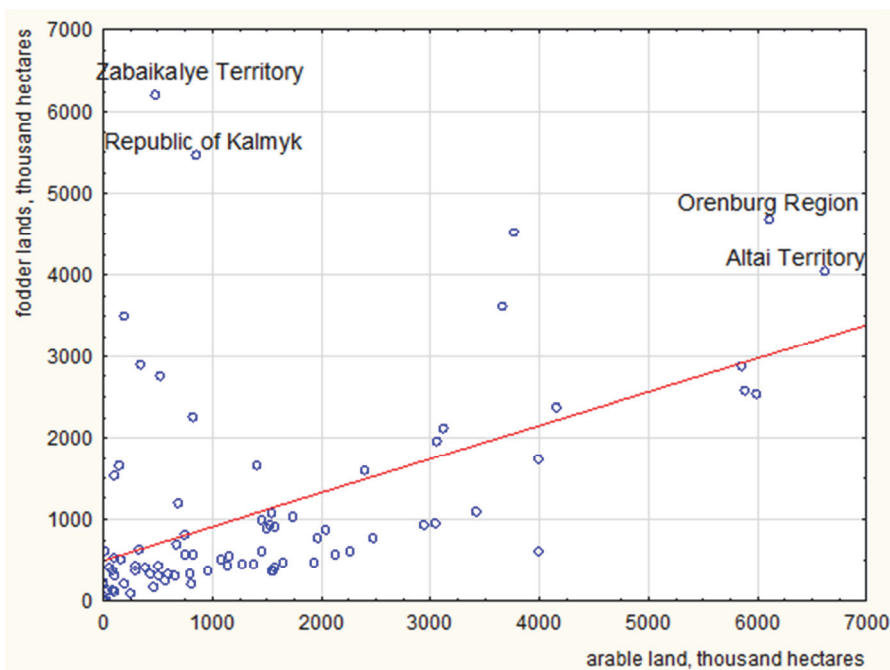
**Распределение земель региональных экономических систем по категориям**

Показатель	Условные обозначения для категории земель						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Среднее значение	4 679,7	242,0	211,4	573,5	13 735,6	342,1	1 094,0
Медианное значение	2 347,4	216,6	74,7	80,4	2 014,5	69,0	145,7
Стандартное отклонение	7 219,9	159,3	561,5	1 755,0	34 784,0	979,0	4 094,1
Сумма	383 738,3	19 844,6	17 337,1	47 032,8	1 126 320,3	28 054,8	89 708,4
Минимальное значение	150,9	12,4	6,7	0	0	0	0,3
Максимальное значение	39 760,5	738,4	4 918,2	12 225,3	252 820,3	7 814,3	30 310,2
Нижний квартиль	1 450,3	111,4	46,2	11,4	457,6	12,2	30,8
Верхний квартиль	4 529,2	361,8	196,6	370,6	10 257,8	217,1	601,6

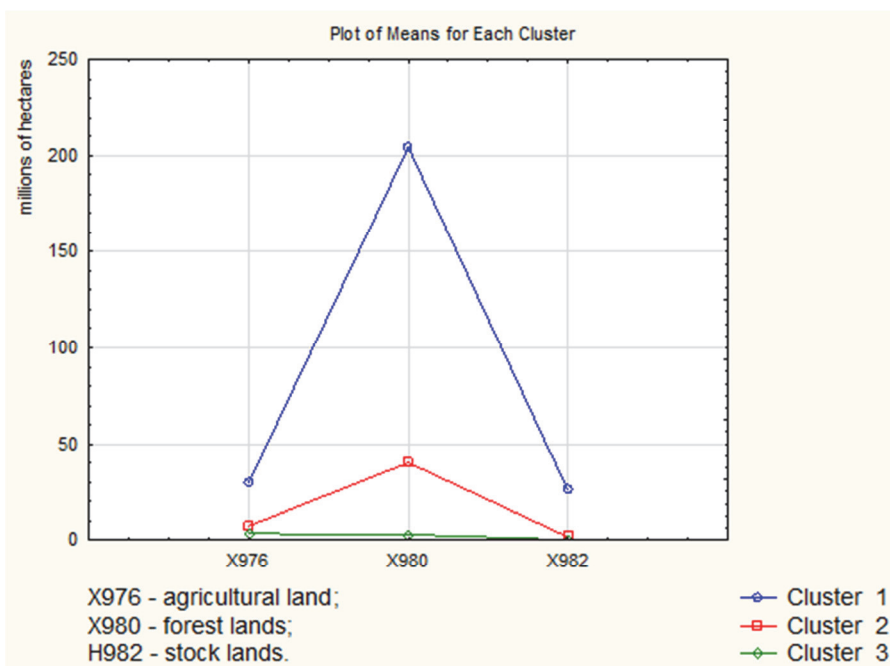
*Примечание.* I — земли сельскохозяйственного назначения; II — земли населенных пунктов; III — земли промышленности и иного назначения; IV — земли особо охраняемых территорий и объектов; V — земли лесного фонда; VI — земли водного фонда; VII — земли запаса.

**Рис. 7.** Распределение сельскохозяйственных земель по четырем категориям

В структуре сельскохозяйственных земель (рис. 8) наибольший удельный вес занимают пахотные земли, они составляют половину всех сельхозугодий. Третья часть земли занята кормовыми насаждениями. Доля земель занятых многолетними насаждениями и залежь в структуре сельскохозяйственных земель незначительная.



**Рис. 8.** Соотношение площади пашни и кормовых угодий как основных категорий сельскохозяйственных земель



**Рис. 9.** График средних значений площади земель в региональном разрезе

По совокупной площади земель, занятых пашней и кормовыми угодьями, среди регионов можно выделить Забайкальский край, Республику Калмыкию, Оренбургскую область и Алтайский край (рис. 9).

**Субъекты Российской Федерации, обладающие значительными земельными ресурсами для дальнейшего агропромышленного развития**

Номер в порядке убывания места в общем рейтинге	Регионы	X976	X980	X982
Регионы, обеспеченные земельными ресурсами				
1	Красноярский край	39,8	155,6	30,3
2	Республика Саха (Якутия)	19,4	252,8	21,4
Регионы со среднероссийскими показателями обеспеченности земельными ресурсами				
1	Республика Коми	1,9	36,0	0,6
2	Забайкальский край	8,0	31,9	1,2
3	Камчатский край	0,2	44,2	0,7
4	Магаданская область	0,3	44,6	0,3
5	Амурская область	3,5	30,6	0,8
6	Ханты-Мансийский автономный округ — Югра	0,6	48,7	2,0
7	Томская область	2,0	28,6	0,5
8	Республика Бурятия	2,8	26,9	0,6
9	Архангельская область	2,3	27,1	3,9
10	Ямало-Ненецкий автономный округ	30,5	31,7	5,0
11	Иркутская область	2,9	69,3	0,5
12	Хабаровский край	0,4	73,7	1,4
13	Чукотский автономный округ	39,4	27,6	4,2
Регионы, недостаточно обеспеченные земельными ресурсами для агропромышленного развития				
14—82	Все остальные субъекты Российской Федерации			

Для целей формирования группировки регионов по степени агропромышленного потенциала были учтены три показателя — площади земель сельхозназначения, земель лесного фонда и земель запаса. Группировка регионов по другим переменным не прошла проверку на предмет статистической значимости учтенных переменных в кластерном анализе.

Интерпретация рис. 9 приведена в табл. 2. Регионы, входящие в первый и во второй кластер, обладают наибольшими земельными ресурсами для дальнейшей интенсификации агропромышленного развития. Площадь земель сельскохозяйственного назначения может быть увеличена за счет значительной доли земель лесного фонда.

Таким образом, субъекты РФ изначально специфичны по имеющемуся земельно-имущественному потенциалу. Административное управление региональной системой основано на управлении земельным фондом для целей устойчивого социально-экономического развития.

В целях выявления равномерности агропромышленного развития построена таксонометрическая модель агропромышленного потенциала регионов путем обобщения 22 статистических показателей (табл. 3), публикуемых Росстатом в региональном разрезе.

**Система использованных статистических показателей**

Усл. №	Показатель
X1	Продукция сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий (в фактически действовавших ценах), млн р.
X2	Индексы производства продукции сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году), %
X3	Индексы производства продукции растениеводства в хозяйствах всех категорий (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году), %
X4	Индексы производства продукции животноводства в хозяйствах всех категорий (в сопоставимых ценах; в процентах к предыдущему году), %
X5	Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) организаций растениеводства по данным бухгалтерской отчетности, млн р.
X6	Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) организаций животноводства по данным бухгалтерской отчетности, млн р.
X7	Рентабельность проданных товаров (работ, услуг), продукции растениеводства, %
X8	Рентабельность проданных товаров (работ, услуг), продукции животноводства, %
X9	Урожайность зерновых и зернобобовых культур в весе после доработки в хозяйствах всех категорий (центнеров с одного гектара убранной площади), ц
X10	Урожайность картофеля в хозяйствах всех категорий; центнеров с одного гектара убранной площади, ц
X11	Урожайность овощей в хозяйствах всех категорий; центнеров с одного гектара убранной площади, ц
X12	Внесение минеральных удобрения на 1 га посева сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях (в пересчете на 100% питательных веществ), кг
X13	Внесение органических удобрений на 1 га посева сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях, т
X14	Поголовье крупного рогатого скота в хозяйствах всех категорий на конец года, тыс. голов
X15	Поголовье свиней в хозяйствах всех категорий на конец года, тыс. голов
X16	Поголовье овец и коз в хозяйствах всех категорий на конец года, тыс. голов
X17	Производство скота и птицы на убой (в убойном весе) в хозяйствах всех категорий, тыс. т
X18	Производство молока в хозяйствах всех категорий, тыс. т
X19	Производство яиц в хозяйствах всех категорий, млн шт.
X20	Производство шерсти в хозяйствах всех категорий (в физическом весе), т
X21	Производство меда в хозяйствах всех категорий, т
X22	Расход кормов в расчете на одну условную голову крупного скота в сельскохозяйственных организациях (центнеров кормовых единиц), ц

Таксонометрический показатель развития представляет собой так называемый синтетический показатель, равнозначно характеризующий рассматриваемые переменные для всей совокупности территориальных единиц, что позволяет линейно упорядочить включенные в анализ переменные и провести ранжирование объектов наблюдения арифметическими процедурами.

Исследование проводилось по следующим этапам:

1. Сбор статистических показателей и приведение их к сопоставимому виду.
2. После предварительной подготовки исходных данных была сформирована матрица региональных показателей и проведена стандартизация.
3. Процедура стандартизации переменных сопровождается неизбежной потерей информации, поэтому для усиления влияния одних переменных и уменьшения влияния других вводились коэффициенты иерархии переменных.

4. Производилась дифференциация переменных на положительные и отрицательные для расчета индивидуальных отклонений от эталонных по каждому оцениваемому параметру. Подобное разделение было основано на определении точки  $P_0$  с координатами

$$z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0n} \quad (1)$$

при  $z_{0s} = \max_r z_{rs}$ , если  $s \in I$ ,  $z_{0s} = \min_r z_{rs}$ , если  $s \notin I$  ( $s = 1, \dots, n$ ),

где  $I$  — множество положительно-влияющих и отрицательно-влияющих (негативных) переменных;  $z_{rs}$  — стандартизованное значение признака  $s$  для единицы  $r$ .

5. Определение расстояния  $c_{i0}$ , как расстояния между отдельными значениями переменных и значениями  $P_0$ , являющихся эталонными по формуле

$$c_{i0} = \left[ \sum_{s=1}^n (z_{is} - z_{0s})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (i = 1, \dots, w). \quad (2)$$

6. Полученные таким образом расстояния  $c_{i0}$  выступают основой для расчета показателя уровня развития региона  $d_i^*$ , определяемого как

$$d_i^* = \frac{c_{i0}}{c_0}, \quad (3)$$

где  $c_0 = \bar{c}_0 + 2S_0$ ,  $\bar{c}_0 = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w c_{i0}$ ,  $S_0 = \left[ \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w (c_{i0} - \bar{c}_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ .

Итоговый показатель  $d_i^*$  служит интегральной характеристикой регионов по совокупности рассматриваемых показателей и характеризуется величиной, стремящейся к нулю.

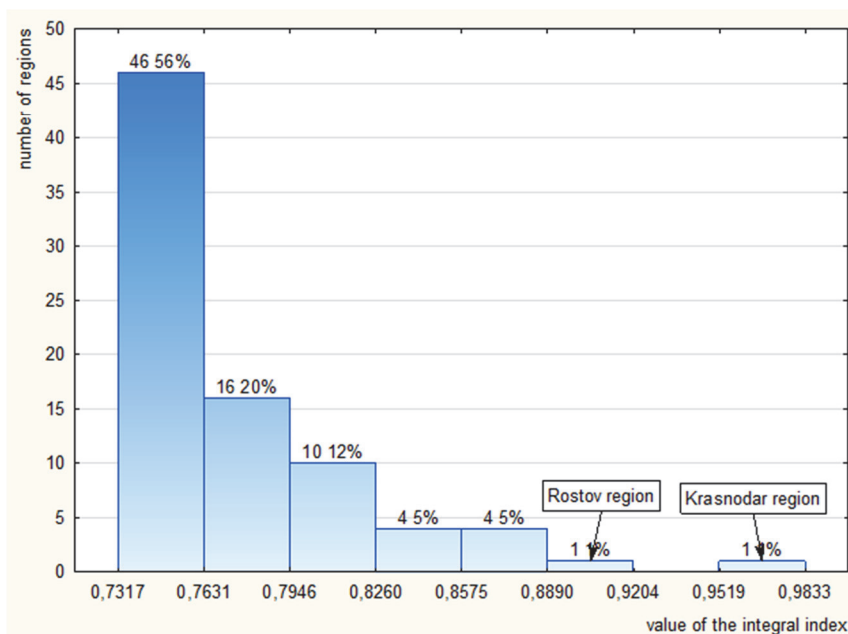
7. Более информативной считается обратная величина, показывающая, чем ближе показатель к единице, тем выше уровень социально-экономического развития региона.

$$d_i = 1 - \frac{c_{i0}}{c_0}. \quad (4)$$

С помощью полученного таксонометрическим методом интегрального показателя можно оценить достижение отдельно взятым регионом в конкретный момент времени среднего значения рассматриваемых показателей. Для целей достоверности анализа были исключены города федерального значения, количество регионов, участвующих в анализе, составило 82 (табл. 4).

На последнем этапе производился расчет матрицы стандартизованных переменных, скорректированных на коэффициент иерархии. Итогом анализа стало построение рейтинга регионов по уровню развития сельскохозяйственного производства.

Результаты построения рейтинга можно компактно отобразить на гистограмме, определив количество интервалов (групп) по формуле Стерджеса (рис. 10).



**Рис. 10.** Распределение регионов по интегральному индексу агропромышленного развития

Ранжирование регионов по относительно устойчивым группам визуально показывает значительный отрыв Краснодарского края и Ростовской области по интегральному индексу, определяя их доминирующее положение в сельскохозяйственной специализации регионов (табл. 4). В связи с тем, что выделение групп происходило через равные интервалы, в итоговом рейтинге не присутствует вторая группа, в диапазон значений которой не попал ни один из рассматриваемых регионов.

Таблица 4

**Распределение регионов России по индексу агропромышленного развития**

Место в группе	Сквозной номер в общем рейтинге	Название субъекта РФ	Индекс рейтинга
Первая группа			
1	1	Краснодарский край	0,9833
Третья группа			
1	2	Ростовская область	0,9161
Четвертая группа			
1	3	Республика Татарстан	0,8849
2	4	Белгородская область	0,8831
3	5	Ставропольский край	0,8691
4	6	Воронежская область	0,8666
Пятая группа			
1	7	Республика Башкортостан	0,8428
2	8	Алтайский край	0,8378
3	9	Саратовская область	0,8345
4	10	Волгоградская область	0,8277



Продолжение табл. 4

Место в группе	Сквозной номер в общем рейтинге	Название субъекта РФ	Индекс рейтинга
Шестая группа			
1	11	Курская область	0,8193
2	12	Челябинская область	0,8131
3	13	Тамбовская область	0,8099
4	14	Оренбургская область	0,8086
5	15	Республика Дагестан	0,8064
6	16	Липецкая область	0,8040
7	17	Московская область	0,8007
8	18	Самарская область	0,7972
9	19	Красноярский край	0,7964
10	20	Ленинградская область	0,7958
Седьмая группа			
1	21	Омская область	0,7936
2	22	Новосибирская область	0,7901
3	23	Пензенская область	0,7879
4	24	Брянская область	0,7858
5	25	Нижегородская область	0,7807
6	26	Свердловская область	0,7805
7	27	Орловская область	0,7785
8	28	Тюменская область	0,7783
9	29	Удмуртская Республика	0,7775
10	30	Республика Крым	0,7758
11	31	Иркутская область	0,7746
12	32	Тульская область	0,7719
13	33	Республика Мордовия	0,7703
14	34	Кемеровская область	0,7693
15	35	Амурская область	0,7664
16	36	Рязанская область	0,7662
Восьмая группа			
1	37	Пермский край	0,7619
2	38	Кабардино-Балкарская Респ.	0,7603
3	39	Курганская область	0,7602
4	40	Чувашская Республика	0,7601
5	41	Республика Марий Эл	0,7600
6	42	Приморский край	0,7594
7	43	Ульяновская область	0,7583
8	44	Астраханская область	0,7577
9	45	Кировская область	0,7573
10	46	Калужская область	0,7566
11	47	Владимирская область	0,7554
12	48	Тверская область	0,7544
13	49	Ярославская область	0,7541
14	50	Карачаево-Черкесская Респ.	0,7527
15	51	Калининградская область	0,7520
16	52	Вологодская область	0,7518
17	53	Новгородская область	0,7515
18	54	Псковская область	0,7513
19	55	Томская область	0,7510
20	56	Республика Калмыкия	0,7479
21	57	Республика С. Осетия—Алания	0,7476
22	58	Смоленская область	0,7475
23	59	Республика Саха (Якутия)	0,7468
24	60	Хабаровский край	0,7462
25	61	Костромская область	0,7457

Окончание табл. 4

Место в группе	Сквозной номер в общем рейтинге	Название субъекта РФ	Индекс рейтинга
26	62	Забайкальский край	0,7456
27	63	Республика Адыгея	0,7456
28	64	Чеченская Республика	0,7455
29	65	Ивановская область	0,7431
30	66	Республика Бурятия	0,7429
31	67	Республика Хакасия	0,7421
32	68	Архангельская область	0,7399
33	69	Республика Алтай	0,7398
34	70	Сахалинская область	0,7395
35	71	Республика Коми	0,7388
36	72	Камчатский край	0,7374
37	73	Республика Ингушетия	0,7371
38	74	ХМАО — Югра	0,7371
39	75	Еврейская автономная область	0,7359
40	76	Республика Тыва	0,7356
41	77	Республика Карелия	0,7350
42	78	Магаданская область	0,7332
43	79	Мурманская область	0,7326
44	80	Ямало-Ненецкий авт. округ	0,7326
45	81	Ненецкий автономный округ	0,7321
46	82	Чукотский автономный округ	0,7317

### Выводы

Проведенное исследование подтвердило неравномерность агропромышленного потенциала регионов России. Наиболее развитыми в этом отношении можно признать южные регионы, наименее развитыми — северные, что является вполне закономерным и логичным, учитывая, что более 70% территории страны расположено в зоне Севера.

Достижение поставленных перед АПК целей будет способствовать серьезному повышению качества жизни на селе.

В условиях низкого уровня развития АПК на большей части территории России необходимы всесторонняя диверсификация региональных экономических систем, поддержка и развитие фермерских типов производств, традиционных видов промысла и ремесел, устранение административных ограничений на пути реализации произведенной в сельской местности продукции, создание доступных условий для финансового выравнивания проводимых преобразований, информационного сопровождения трудовой деятельности, инфраструктурного обеспечения процессов агробизнеса, повышение заинтересованности и экономической грамотности населения.

### References

1. Burov M.P. Special economic zones as a tool for the development of an innovative economy. *Herald of Russian Academy of Natural Sciences*. 2009; 9(4):27—32. (In Russ).
2. Burov M.P. *Ekonomika Rossii* [The economy of Russia]. Moscow: Dashkovi K Publ.; 2018. (In Russ).
3. Burov M.P. A question on quality of a labor and education. *Zemleustroistvo, kadastrni monitoring zemel'*. 2010; (4):80—86. (In Russ).
4. Burov M.P., Kosinskiy V.V. Labour: modern tendencies and aims in training of land management specialists. *Zemleustroistvo, kadastrni monitoring zemel'*. 2017; (3):63—71. (In Russ).

5. Papaskiri TV, Nilipovsky VI. The use of innovative technologies in land use planning education. *E&M Euroeducation*. 2009; (2—3):27—32.
6. Burov MP. Specific aspects of state regulation of the Russian economy and its regions taking into account the natural resource factor (Part 2). *Vestnik RIAT*. 2018; (4):28—34. (In Russ).
7. Burov MP. *Regulirovanie protsessov ekonomicheskoi integratsii subektov Rossiiskoi Federatsii: rol' i mesto mezhhregional'nykh organov vlasti i obshchestvennykh struktur* [Regulation of processes of economic integration of the constituent entities of the Russian Federation: the role and place of interregional authorities and public structures]. Moscow: Ekonomika Publ.; 2006. (In Russ).
8. Margalitadze ON. Ecotourism is a factor of sustainable development of Russian regions. *Moscow Economic Journal*. 2018; (1):52—61. (In Russ).
9. Chemodin YA. Actual problems of the Far East. *Moscow Economic Journal*. 2018; (4):24—30. doi: 10.24411/2413-046X-2018-14064 (In Russ).
10. Chemodin YA. On the issue of land development in the Northern regions of Siberia and the Far East. *Moscow Economic Journal*. 2018; (1):89—100. doi: 10.10.24411/2413-046X-2018-11010 (In Russ).
11. Burov MP, Gorbunov VS. On the issue of regulation of land relations. *Zemleustroistvo, kadastrni monitoring zemel'*. 2017; (7):17—24. (In Russ).
12. Barsukova SY, Zvyagintsev VI. Land reform in Russia in 1990—2000-ies, or how land reform was “reformed” during the departmental reorganization. *Journal of Institutional Studies*. 2015; 7(2):84—98. doi: 10.17835/2076-6297.2015.7.2.084-098 (In Russ).
13. Burov M.P. *Regional'naya ekonomika i upravlenie territorial'nym razvitiem* [Regional economics and territorial development management]. 2nd ed. Moscow: Dashkovi K Publ.; 2019. (In Russ).
14. Schrooten M. Fiscal Federalism and Regional Development in Russia. *Region et Development*. 2003; (18):53—72.
15. Korostelev SP, Margalitadze ON, Chemodin YA, Gorbunov VS. On the issue of effective management of territorial development of the Russian Federation for sustainable economic growth. *Moscow Economic Journal*. 2019; (3):108—123. doi: 10.24411/2413-046X-2019-13003 (In Russ).
16. Burov MP. The greening of tourism and the priority directions of state management of development of tourist areas. *Economic systems*. 2018; 11(1):19—29. doi: 10/29030/2309-2076-2018-11-1-19-29 (In Russ).
17. Fomin AA. Lessons from the reforms of Peter Arkadyevich Stolypin. *International Agricultural Journal*. 2017; (2):6—7. (In Russ).
18. Burov MP, Gorbunov VS. Land administration perfection. *Zemleustroistvo, kadastrni monitoring zemel'*. 2017; (9):5—13. (In Russ).
19. Gorbunov VS. Transport aspects of economic security of Russia's mountainous areas: The automotive industry of the Krasnodar Krai case. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2019; 17(1):140—152. doi: 10.24891/re.17.1.140 (In Russ).
20. Chemodin YA, Gorbunov VS. *Metodologicheskie osnovy i mekhanizmy ustoichivogo razvitiya territorii Rossii na regional'nom urovne* [Methodological foundations and mechanisms of sustainable development of the territory of Russia at the regional level]. Moscow: Nauchnyi konsul'tant Publ.; 2018. (In Russ).
21. Burov MP, Gorbunov VS. The question of methodology of forming of strategy of development of the national economy. *Economics and Entrepreneurship*. 2017; (4-1):114—121. (In Russ).
22. Ivanov NI. *Planirovanie ratsional'nogo ispol'zovaniya zemel' sel'skokhozyaistvennogo naznacheniya i ikh okhrany v sub"ektakh Rossiiskoi Federatsii (na primere Tsentral'nogo Federal'nogo okruga)* [Planning the rational use of agricultural land and their protection in the constituent entities of the Russian Federation (for example, the Central Federal District)]. Moscow: GUZ Publ.; 2014. (In Russ).

23. Ivanov NI, Efremova LB, Gorbunov VS. Formation of steady model of development of the Russian territories on the basis of using the modern methods of power supply. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 2019; (1):69—75. doi: 10.33305/191-69 (In Russ).
24. Federal State Statistics Service. *Regions of Russia. The base of socio-economic indicators (Appendix)*. Available from: <https://gks.ru/folder/210/document/47652> [Accessed 18 October 2019]. (In Russ).
25. Bock HH, Chiodi M, Mineo A. (eds.) *Advances in multivariate data analysis*. Berlin: Springer; 2004.
26. Romesburg HC. *Cluster Analysis for Researchers*. North Carolina: Lulu Press; 2004.
27. Aydogan N, Chen YP. (eds.) *Social Capital and Business Development in High-Technology Clusters*. New York: Springer; 2008. doi: 10.1007/978-0-387-71911-5
28. Thrun MC. *Projection-Based Clustering through Self-Organization and Swarm Intelligence*. Germany: Philipps-Universität Marburg; 2017. doi: 10.1007/978-3-658-20540-9
29. Titova NY, Pervuhin MA, Baturin GG. Identification of regional clusters in the Russian Far East. *European Research Studies Journal*. 2017; 20(4A):339—359.
30. Burov MP. *Ekonomicheskie preobrazovaniya v strane v usloviyakh globalizatsii: natsional'nyi i regional'nyi aspekty* [Economic transformations in the country in the context of globalization: national and regional aspects]. Moscow: Dashkovi K Publ.; 2011.
31. Aganbegyan A. Achieving Higher Levels of Life Expectancy in Russia. *Economic Policy*. 2012; 134—156.
32. Burov MP. Specific aspects of state regulation of the Russian economy and its regions taking into account the natural resource factor (Part 1). *Vestnik RIAT*. 2018; (3):16—23.

### Библиографический список

1. Буров М.П. Особые экономические зоны как инструмент развития инновационной экономики // Вестник РАЕН. 2009. Т. 9. № 4. С. 27—32.
2. Буров М.П. Экономика России. М.: Дашков и К, 2018. 134 с.
3. Буров М.П. К вопросу о качестве рабочей силы и образования // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2010. № 4. С. 80—86.
4. Буров М.П., Косинский В.В. Качество образования и рабочей силы: современные тенденции и задачи подготовки землестроительных кадров // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2017. № 3. С. 63—71.
5. Papaskiri T.V., Nilipovsky V.I. The use of innovative technologies in land use planning education // E&M Euroeducation. 2009. № 2—3. P. 27—32.
6. Буров М.П. Особенности государственного регулирования экономики России и ее регионов с учетом природно-ресурсного фактора (часть 2) // Вестник РМАТ. 2018. № 4. С. 28—34.
7. Буров М.П. Регулирование процессов экономической интеграции субъектов Российской Федерации: роль и место межрегиональных органов власти и общественных структур. М.: Экономика, 2006. 222 с.
8. Маргалитадзе О.Н. Экотуризм — фактор устойчивого развития регионов России // Московский экономический журнал. 2018. № 1. С. 52—61.
9. Чемодин Ю.А. Актуальные проблемы Дальнего Востока // Московский экономический журнал. 2018. № 4. С. 24—30. doi: 10.24411/2413-046X-2018-14064
10. Чемодин Ю.А. К вопросу освоения земель северных районов Сибири и Дальнего Востока // Московский экономический журнал. 2018. № 1. С. 89—100. doi: 10.10.24411/2413-046X-2018-11010
11. Буров М.П., Горбунов В.С. К вопросу о регулировании земельных отношений // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2017. № 7 (150). С. 17—24.

12. Барсукова С.Ю., Звягинцев В.И. Земельная реформа в России в 1990—2000-е годы, или как в ходе ведомственных реорганизаций «реформировали» земельную реформу // Журнал институциональных исследований. 2015. Т. 7. № 2. С. 84—98. doi: 10.17835/2076-6297.2015.7.2.084-098
13. Буров М.П. Региональная экономика и управление территориальным развитием. 2-е изд. М.: Дашков и К°, 2019. 446 С.
14. Schrooten M. Fiscal Federalism and Regional Development in Russia // *Region et Development*. 2003. № 18. P. 53—72.
15. Коростелев С.П., Маргалитадзе О.Н., Чемодин Ю.А., Горбунов В.С. К вопросу об эффективном управлении территориальным развитием Российской Федерации для устойчивого роста экономики // Московский экономический журнал. 2019. № 3. С. 108—123. doi: 10.24411/2413-046X-2019-13003
16. Буров М.П. Экологизация туризма и приоритетные направления государственного управления развитием туристских территорий // *Экономические системы*. 2018. Т. 11. № 1 (40). С. 19—29. doi: 10/29030/2309-2076-2018-11-1-19-29
17. Фомин А.А. Уроки реформ Петра Аркадьевича Столыпина // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2017. №2. С. 6—7.
18. Буров М.П., Горбунов В.С. Совершенствовать управляющее воздействие на развитие территорий // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. 2017. № 9. С. 5—13.
19. Горбунов В.С. Транспортные аспекты экономической безопасности горных регионов России (на примере автомобильной отрасли Краснодарского края) // *Региональная экономика: теория и практика*. 2019. Т. 17. № 1. С. 140—152. doi: 10.24891/te.17.1.140
20. Чемодин Ю.А., Горбунов В.С. Методологические основы и механизмы устойчивого развития территории России на региональном уровне. М.: Научный консультант, 2018. 160 с.
21. Буров М.П., Горбунов В.С. К вопросу о методологии формирования стратегии развития национальной экономики // *Экономика и предпринимательство*. 2017. № 4—1 (81—1). С. 114—121.
22. Иванов Н.И. Планирование рационального использования земель сельскохозяйственного назначения и их охраны в субъектах Российской Федерации (на примере Центрального Федерального округа): монография. М.: ГУЗ, 2014. 280 с.
23. Иванов Н.И., Ефремова Л.Б., Горбунов В.С. Формирование устойчивой модели развития российских территорий на основе использования современных методов энергообеспечения // *АПК: Экономика, управление*. 2019. № 1. С. 69—75. doi: 10.33305/191-69
24. Регионы России. База социально-экономических показателей (Приложение) // Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gks.ru/folder/210/document/47652>. Дата обращения 18.10.2019.
25. Bock H.-H., Chiodi M., Mineo A. *Advances in multivariate data analysis*. Berlin: Springer, 2004. 281 p.
26. Romesburg H.C. *Cluster Analysis for Researchers*. North Carolina: Lulu Press, 2004. 337 p.
27. Aydogan N., Chen Y.P. *Social Capital and Business Development in High-Technology Clusters*. New York : Springer, 2008. 119 p. doi: 10.1007/978-0-387-71911-5
28. Thrun M.C. *Projection-Based Clustering through Self-Organization and Swarm Intelligence*. Philipps-Universität Marburg, Germany, 2017. 210 p. doi: 10.1007/978-3-658-20540-9
29. Titova N.Y., Pervuhin M.A. and Baturin G.G. Identification of regional clusters in the Russian Far East // *European Research Studies Journal*. 2017. Vol. 20. № 4A. P. 339—359.
30. Буров М.П. Экономические преобразования в стране в условиях глобализации: национальный и региональный аспекты. М.: Дашков и К°, 2011. 502 с.
31. Aganbegyan A. Achieving Higher Levels of Life Expectancy in Russia // *Economic Policy*. 2012. P. 134—156.
32. Буров М.П. Особенности государственного регулирования экономики России и ее регионов с учетом природно-ресурсного фактора (часть 1) // *Вестник РМАТ*. 2018. № 3. С. 16—23.

**About Authors:**

*Ivanov Nikolay Ivanovich* — Doctor of Economic Sciences, Professor, Vice-rector for social Affairs and educational work, head of the Department of Economic Theory and Management, State University of Land Use Planning, 15 Kazakova str., Moscow, Russian Federation, [nickibut@yandex.ru](mailto:nickibut@yandex.ru)

*Shevchenko Tatyana Viktorovna* — Candidate of Economic Sciences, associate Professor, Department of Economic Theory and Management, State University of Land Use Planning, 15 Kazakova str., Moscow, Russian Federation, [tatyanaidn@mail.ru](mailto:tatyanaidn@mail.ru)

*Gorbunov Vladimir Sergeevich* — Candidate of Geographical Sciences, associate Professor, Department of Economic Theory and Management, State University of Land Use Planning, 15 Kazakova str., Moscow, Russian Federation, [vsgorbunov@yahoo.com](mailto:vsgorbunov@yahoo.com)

**Об авторах:**

*Иванов Николай Иванович* — доктор экономических наук, профессор, проректор по социальным вопросам и воспитательной работе, заведующий кафедрой экономической теории и менеджмента, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, г. Москва, ул. Казакова, д. 15, [nickibut@yandex.ru](mailto:nickibut@yandex.ru)

*Шевченко Татьяна Викторовна* — кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической теории и менеджмента, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, г. Москва, ул. Казакова, д. 15, [tatyanaidn@mail.ru](mailto:tatyanaidn@mail.ru)

*Горбунов Владимир Сергеевич* — кандидат географических наук, доцент кафедры экономической теории и менеджмента, Государственный университет по землеустройству, Российская Федерация, г. Москва, ул. Казакова, д. 15, [vsgorbunov@yahoo.com](mailto:vsgorbunov@yahoo.com)