



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2020 Том 15 № 3

DOI: 10.22363/2312-797X-2020-15-3

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 АТИ РУДН,
Москва, Российская Федерация
E-mail: pliushchikov-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

Ответственный секретарь

Терехин А.А., канд. с.-х. наук,
доцент АТИ РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: 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

Алтишулер 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 Тушии, Италия

Бородичев 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 Тушии, 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

Дубенко 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 Тушии, Италия

Медавэр 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

Сычѳв 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

Языки: русский, английский.

Индексируется в РИНЦ (НЭБ), RSCI, 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 эфирномасличные 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 микотоксикологией 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: М.В. Рогова

Адрес редакции:

115419, Москва, Россия, ул. Орджоникидзе, д. 3
Тел.: (495) 955-07-16; e-mail: 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

Подписано в печать 28.09.2020. Выход в свет 29.09.2020. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Tinos, Roboto».

Усл. печ. л. 6,7. Тираж 500 экз. Заказ № 624. 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



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2020 VOLUME 15 No. 3
DOI: 10.22363/2312-797X-2020-15-3
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: pliuschchikov-vg@rudn.ru

DEPUTY CHIEF EDITOR

Dr 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. Vatinov, 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

Languages: Russian, English

Indexed/abstracted by Russian Index of Science Citation, RSCI, Cyberleninka, DOAJ, CABI, Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost.

Aims and Scope

RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries is a 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 *M.V. Rogova*

Address of the Editorial Board:

3 Ordzhonikidze str., 115419 Moscow, Russian Federation
Ph. +7 (495) 952-04-41
e-mail: 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

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

СОДЕРЖАНИЕ

Морфология и биохимия растений

Кононенко Н.В., Леонова Т.Г., Чабан И.А. Цитокинетический и анатомический анализ клеток меристемы *Thellungiella botschantzevii* в условиях высоких концентраций NaCl и Na₂SO₄..... 231

Гинс Е.М., Москалев Е.А., Поливанова О.Б., Митюшкин А.В., Симаков Е.А. Оценка содержания веществ с антиоксидантной активностью в образцах картофеля коллекции исходных родительских форм Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха 242

Растениеводство

Зайцева Н.А., Туманян А.Ф., Селиверстова А.П. Агрэкологическое изучение сортообразцов столовой моркови из коллекции ВИР..... 253

Зобнина И.В., Корелина В.А., Батакова О.Б. Реакция абиотических условий на формирование урожайности зерна овса ярового в условиях Северного региона РФ 263

Генетика и селекция растений

Omar T.A. Evaluation of yield and its components for some flax genotypes (Оценка урожайности генотипов льна)..... 272

Почвоведение и агрохимия

Савин И.Ю. Анализ оптимальности размещения географической сети длительных опытов по применению удобрений..... 281

Ветеринария

Эль-Себаей А.М., Абрамов П.Н., Борунова С.М. Cfa-микроРНК-122 и –21 как современные биомаркеры первичного гепатита у собак..... 294

Bisusa M.A., Bizire M.E., Muntuokuwindi B.D., Nijimbere G., Musimwa K.R., Kambale V.G.Ch. Identification of Ixodidae ticks from cattle imported into the South Kivu province, East of the Democratic Republic of Congo (Идентификация иксодовых клещей крупного рогатого скота, завезенного в провинцию Южное Киву Демократической Республики Конго).... 308

CONTENTS

Morphology and biochemistry of plants

Kononenko N.V., Leonova T.G., Chaban I.A. Cytokinetic and anatomical analysis of *Thellungiella botschantzevii* meristem cells in high concentrations of NaCl and Na₂SO₄..... 231

Gins E.M., Moskalev E.A., Polivanova O.B., Mityushkin A.V., Simakov E.A. Antioxidant contents in potato cultivars from the collection of Russian Potato Research Center 242

Crop production

Zaytseva N.A., Tumanyan A.F., Seliverstova A.P. Agroecological study of garden carrot cultivars from collection of Vavilov institute 253

Zobnina I.V., Korelina V.A., Batakova O.B. Influence of abiotic factors on spring oat yields in the Northern region of Russia 263

Genetics and plant breeding

Omar T.A. Evaluation of yield and its components for some flax genotypes..... 272

Soil science and agrochemistry

Savin I.Y. Analysis of the optimal location of the geographical network of long-term experiments with fertilizers application..... 281

Veterinary science

El-Sebaey A.M., Abramov P.N., Borunova S.M. Cfa-miRNAs-122 and -21 as modern biomarkers of primary hepatitis in dogs..... 294

Bisusa M.A., Bizire M.E., Muntuokuwindi B.D., Nijimbere G., Musimwa K.R., Kambale V.G.Ch. Identification of Ixodidae ticks from cattle imported into the South Kivu province, East of the Democratic Republic of Congo 308

Морфология и биохимия растений Morphology and biochemistry of plants

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-231-241
УДК 581.522.4:632.122:633.111.1

Научная статья / Research article

Цитокинетический и анатомический анализ клеток меристемы *Thellungiella botschantzevii* в условиях высоких концентраций NaCl и Na₂SO₄

Н.В. Кононенко*, Т.Г. Леонова, И.А. Чабан

Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
*nilava@mail.ru

Аннотация. Изучение цитокинетических и анатомических свойств растения экстремофила *Thellungiella botschantzevii* (Gergan) при высоких концентрациях NaCl и Na₂SO₄ и в их отсутствие (контроль) позволило выявить структурно-функциональные преобразования на клеточном уровне и оценить действие засоления. Цитотометрическим методом показано накопление в корневой меристеме клеток в фазе G₁ и S, что свидетельствует об адаптации *Thellungiella botschantzevii* к высоким концентрациям NaCl и Na₂SO₄. Высокий уровень плоидности (до 16С) и содержание максимального количества полиплоидных клеток на уровне 4С и 8С придает растению устойчивость. На полутонких и ультратонких срезах получены анатомические характеристики тканей корня и листа *Thellungiella botschantzevii*, определена аккумуляция в клетке корня липидных и белковых включений. Вид *Thellungiella botschantzevii* является уникальной моделью для разного рода исследований, в т. ч. генетических, и может использоваться в разработке предложений для повышения устойчивости сельскохозяйственных растений.

Ключевые слова: *Thellungiella botschantzevii*, цитотометрия, клеточный цикл, плоидность, липидные капли

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 16 апреля 2020 г. Принята к публикации: 18 мая 2020 г.

Для цитирования:

Кононенко Н.В., Леонова Т.Г., Чабан И.А. Цитокинетический и анатомический анализ клеток меристемы *Thellungiella botschantzevii* в условиях высоких концентраций NaCl и Na₂SO₄ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 231—241. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-231-241

© Кононенко Н.В., Леонова Т.Г., Чабан И.А., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Cytokinetic and anatomical analysis of *Thellungiella botschantzevii* meristem cells in high concentrations of NaCl and Na₂SO₄

Neonila V. Kononenko*, Tatyana G. Leonova, Inna A. Chaban

Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: nilava@mail.ru

Abstract. The study of cytokinetic and anatomical properties of the extremophile plant *Thellungiella botschantzevii* (German) at high concentrations of NaCl and Na₂SO₄ and without them (control) allowed to identify structural and functional transformations at the cellular level and evaluate the effect of salinity. Cytophotometric method showed the accumulation of cells in the root meristem in G1 and S stages, which indicated the adaptation of *Thellungiella botschantzevii* to high concentrations of NaCl and Na₂SO₄. A high level of ploidy (up to 16C) and the maximum number of polyploid cells at the level of 4C and 8C gave the plant stability. Anatomical characteristics of *Thellungiella botschantzevii* root and leaf were obtained on semi-thin and ultra-thin sections, and accumulation of lipid and protein inclusions in the root cell was determined. The data obtained indicate that *Thellungiella botschantzevii* is a unique model for various kinds of research, including genetic research, and can help to develop proposals for increasing resistance in crops.

Key words: *Thellungiella botschantzevii*, cytophotometry, cell cycle, ploidy, lipid drops

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 16 April 2020. Accepted: 18 May 2020

For citation:

Kononenko NV, Leonova TG, Chaban IA. Cytokinetic and anatomical analysis of *Thellungiella botschantzevii* meristem cells in high concentrations of NaCl and Na₂SO₄. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3): 231—241. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-231-241

Введение

Thellungiella приспособлена к засолению, засухе, низким температурам, токсичным металлам, дефициту азота, высыханию и наводнениям [1—5]. Многообразие стрессовых ответов *Thellungiella* было показано на реакциях, связанных со стрессовыми сигналами, поглощением активных форм кислорода (АФК), защитой от ионной токсичности, регуляцией осмотического давления, восстановительными процессами [6]. Из видов *Thellungiella* наиболее изучен *T. salsuginea* (Pall), его геном определен в 2013 г. [7], поэтому *T. salsuginea* стала востребованной при изучении стрессоустойчивости растений и получении трансгенных растений [2, 8—10]. При этом конструируются трансгенные растения (например, трансгенный рис с новым геном ThPIP1 от *Thellungiella halophila*) для изучения толерантности к солям путем сверхэкспрессии некоторых генов bZIP, чувствительных к стрессу [11—13]. Были идентифицированы холодрегулируемые гены как на уровне мРНК, так и на уровне белка [14]. Некоторые гены TF также были разработаны для улучшения устойчивости к стрессу у модельных и сельскохозяйственных растений [13].

Менее исследован вид *Thellungiella botschantzevii* (German), описанный в 2002 г. и пока с неопределенным размером генома. Ранее в наших исследованиях на основании данных по биомассе и изменению соотношения ионов натрия и калия, а также по цитофотометрическому анализу и распределению клеток корневой меристемы по фазам клеточного цикла мы выделили солеустойчивые и солечувствительные образцы *Thellungiella*. По нашим данным вид *Thellungiella botschantzevii* по сравнению с *T. salsuginea* более солеустойчив, так как при высоких концентрациях солей больше клеток накапливалось в периоде G1 интерфазы и снижалось в G₂ фазе, что свидетельствует о высокой адаптации этих растений к солям [8, 15, 16]. Эти результаты подтвердили наши исследования по определению солеустойчивости диких видов — эгилопсов [15].

Растение *Thellungiella botschantzevii* имеет много общих черт с *Arabidopsis thaliana*, включая его внешний вид. Эти небольшие розеточные растения сопоставимы между собой по скорости роста и размерам, а также по фертильности, большому количеству семян с неравномерным процессом созревания, легкости трансформации [7]. К сожалению, данные о прохождении *A. thaliana* клеточного цикла в литературе не приводятся.

В литературе практически отсутствуют анатомические исследования меристематической зоны корней и листовой пластинки *Thellungiella botschantzevii*. Важность их изучения состоит в том, что изменения, происходящие в этой ткани на клеточном уровне, будут влиять на рост и развитие в онтогенезе.

Цель исследования — выявить цитокинетические и анатомические характеристики растения экстремофила *Thellungiella botschantzevii* (German) в контроле и при высоких концентрациях NaCl и Na₂SO₄ и сравнить их с *A. thaliana*.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали растения *Thellungiella botschantzevii* и *A. thaliana*, семена которых были собраны в естественных местах обитания (Саратовская обл.) [16]. Растения выращивали в чашках Петри в термостате при 23 °С в течение 5 суток на воде. Затем проросшие семена переносили в растворы 0,5 % NaCl и 1 % Na₂SO₄ и выдерживали 1 сут. Контролем служили проростки, выращенные в воде. Анализ интерфазных ядер в корнях растений проводили методом цитофотометрии ДНК на давленных постоянных препаратах, после окрашивания их по методу Фельгена, на цитоспектрофотометре SMP-20 (Opton, Германия). Для расчета количества ДНК в пг использовали стандарт — данные о количестве ДНК в диплоидных ядрах клеток *A. thaliana*, представленные в базе данных Kew Botanical garden (www.kew.org.uk/cvalues) [17, 18]. За 1С принимали количество ДНК в не реплицированном гаплоидном наборе хромосом. Было проанализировано >300 ядер.

Изучение анатомических характеристик корня проводили на 6 суточных проростках. Для исследования анатомии листовой пластинки растения выращивали в почве в течение месяца. Измерение площади ядер проводили с помощью микроскопа Olympus BX51 и цифровой камеры Color View II (Германия) в программе Soft Imaging System. Поперечные срезы корней и листьев получали с помощью

ультрамикротомом LKB — III (Швеция), после заливки в смесь смол (эпон, аралдит) по стандартной методике [19]. Ультраструктуру исследовали на электронном микроскопе Хитачи Н-300 (Япония). Статистическую обработку данных проводили с применением программы Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Анатомическую структуру корней *Thellungiella botschantzevii* при разных условиях выращивания изучали на поперечных срезах апикальной зоны (рис. 1).

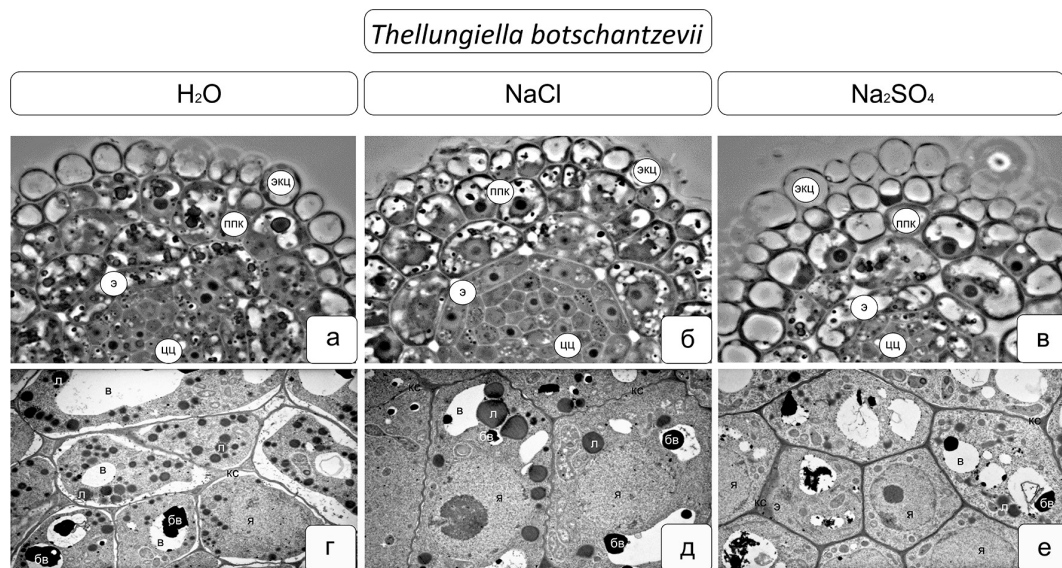


Рис. 1. Поперечные срезы корня *Thellungiella botschantzevii* при разных условиях прорастивания (вода, хлорид натрия, сульфат натрия). Световая микроскопия (верхний ряд): а — H_2O ; б — $NaCl$; в — Na_2SO_4 . Ув. $\times 1000$. Электронная микроскопия (нижний ряд): г — H_2O ; д — $NaCl$; е — Na_2SO_4 . Ув. $\times 4000$; **Обозначения:** экз — экзодерма; ппк — паренхимные клетки первичной коры; э — эндодерма; цц — центральный цилиндр; кс — клеточная стенка; я — ядро; в — вакуоль; л — липидные капли; б, в — белковые включения

Fig. 1. Cross sections of *Thellungiella botschantzevii* root under different germination conditions (water, sodium chloride, sodium sulfate). Light microscopy (top row): а — H_2O ; б — $NaCl$; в — Na_2SO_4 ; Magnification $\times 1000$. Electron microscopy (bottom row): г — H_2O ; д — $NaCl$; е — Na_2SO_4 . Magnification $\times 4000$; **Notations:** экз — exoderm; ппк — parenchymal cells of primary cortex; э — endoderm; цц — central cylinder; кс — cell wall; я — nucleus; в — vacuole; л — lipid drops; б, в — protein inclusions

На полутонких срезах корней в контроле и при засолении разница не очень заметна. Корни содержат экзодерму, двухслойную первичную кору, эндодерму и центральный цилиндр (см. рис. 1, а—в).

Для более детальной характеристики и выявления внутриклеточных различий между вариантами, было проведено электронно-микроскопическое исследование корня, где визуализируются ядра, вакуоли, липидные капли, белковые включения, клеточные стенки (см. рис. 1, г—е).

На ультратонком срезе *Thellungiella botschantzevii* в контроле (вода) наблюдали отслоение протоплазмы от клеточной стенки; большое количество липидных капель ($18 \pm 1,1$ шт на клетку) в цитоплазме. Цитоплазма отличалась высокой плотностью и насыщена органеллами, ядра крупные, округлые или лопастные по форме.

Вакуоли содержат осмиофильные включения, по-видимому, белковой природы (см. рис. 1, г).

Сопоставление поперечных срезов корня показывает, что хлоридное засоление приводит к увеличению площади паренхимных клеток по сравнению с контролем (см. рис. 1, б). На ультратонком срезе корня при хлоридном засолении обнаруживалось незначительное отслоение протоплазмы и четко выраженная извилистость клеточной стенки, что может свидетельствовать об увеличении объема клетки. Плотная цитоплазма содержит крупные липидные капли ($8 \pm 0,9$ шт на клетку). В вакуолях присутствуют крупные белковые включения (см. рис. 1, е).

На поперечных срезах корней *Thellungiella botschantzevii*, пророщенных в растворе с сульфатом натрия, размер паренхимных клеток первичной коры мельче (ксероморфная структура), чем при выращивании в растворе с хлоридом натрия. На ультратонком срезе видно меньшее количество липидных капель по сравнению с вариантом без засоления ($10 \pm 0,8$ шт на клетку). В вакуолях, как и в других вариантах, присутствуют белковые включения (см. рис. 1, в).

Исходя из этих данных можно предположить, что при проращивании семян *Thellungiella botschantzevii* водная среда индуцирует осмотический стресс. Проращивание в NaCl нормализует структуру клеток, однако, не полностью. Судя по состоянию клеточной структуры в тканях корней *Thellungiella botschantzevii*, проращивание в Na_2SO_4 оптимально для сохранения нормальной морфологии клеток.

Для более полного изучения этого вида растения (*Thellungiella botschantzevii*) было проведено также исследование анатомической структуры листовой пластинки. Для сравнения использовали анатомические характеристики тканей листа *A. thaliana*. Исследование проводили на поперечных срезах листовых пластинок контрольных (выращенных на воде) растений (рис. 2).

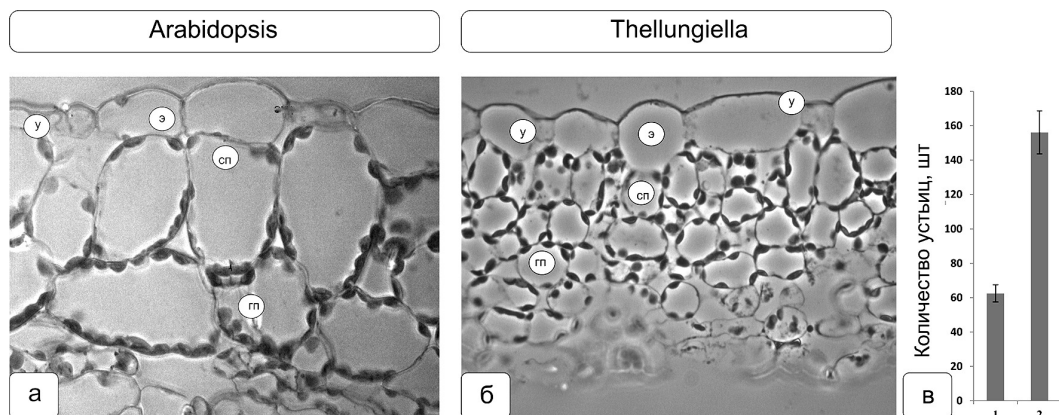


Рис. 2. Строение листовой пластинки: а – *A. thaliana*; б – *T. botschantzevii*; в – количество устьиц у *A. thaliana* (1) и у *T. botschantzevii* (2). Ув. $\times 400$. Обозначения: у – устьице; э – эпидерма; сп – столбчатая паренхима; гп – губчатая паренхима

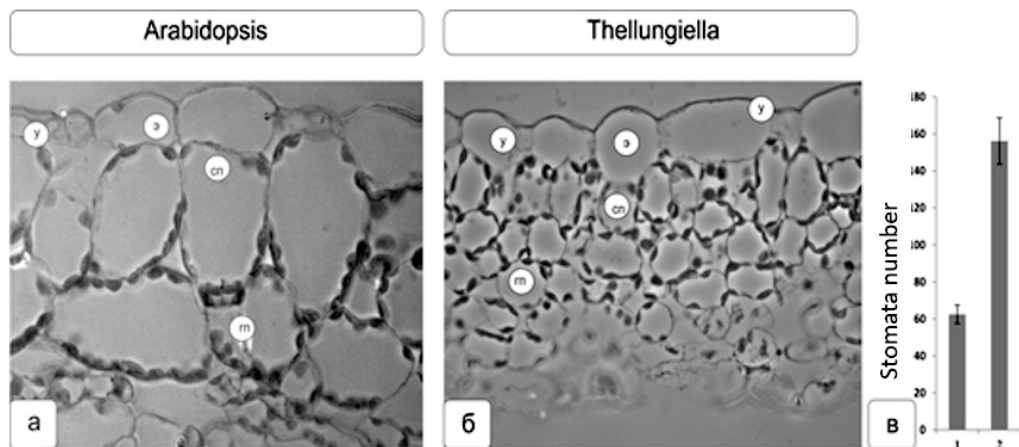


Fig. 2. The structure of the leaf blade: а – *A. thaliana*; б – *T. botschantzevii*; в – number of stomata in *A. thaliana* (1) and in *T. botschantzevii* (2). Magnification $\times 400$. Notations: у – stomata; э – epidermis; сп – palisade parenchyma; гп – spongy parenchyma

Верхний слой клеток — эпидерма — защищена одним слоем кутикулы. Под эпидермой находится столбчатая паренхима, состоящая из удлиненных клеток, между которыми находится небольшое межклеточное пространство. Под столбчатой паренхимой расположена губчатая паренхима, состоящая из клеток неправильной формы, с большими количеством межклеточников. Нижняя часть листа покрыта нижним эпидермисом. На рис. 2 хорошо видны различия в структуре листа обеих растений. В листе *Thellungiella botschantzevii* — клетки эпидермы заметно крупнее, чем клетки паренхимы листа. В листе *A. thaliana*, наоборот, клетки столбчатой паренхимы существенно крупнее, чем клетки эпидермы, и значительно крупнее, чем клетки столбчатой паренхимы листа *Thellungiella botschantzevii*. Клетки листа *Thellungiella botschantzevii* покрыты более толстым слоем кутикулы, чем у *A. thaliana*, но клетки губчатой паренхимы более мелкие с небольшими межклеточниками, тогда как у *A. thaliana* эти клетки гораздо крупнее, с большими воздухоносными полостями. Таким образом, лист *Thellungiella botschantzevii* выглядит более защищенным от воздействий по сравнению с *A. thaliana*.

Эпидермис листа содержит устьица, которых обычно значительно больше в нижнем эпидермисе. Мы провели подсчет количества устьиц на 1 мм поверхности нижнего эпидермиса у изучаемых растений. Было показано, что плотность размещения устьиц в эпидермисе у *A. thaliana* и *Thellungiella botschantzevii* заметно различается. У *Thellungiella botschantzevii* устьиц на 1 мм поверхности нижнего эпидермиса в среднем в 2,5 раза больше, чем у *A. thaliana* (см. рис. 2, в).

При сравнении влияния солей на распределение клеток по фазам клеточного цикла у *A. thaliana* и *Thellungiella botschantzevii* оказалось, что в корневой меристеме *A. thaliana* под действием высоких концентраций солей снижается количество клеток в G1 и S фазах по сравнению с контролем, в G2 фазе число клеток увеличивается, особенно значительно (в 3 раза) при сульфатном засолении, что свидетельствует о чувствительности к солям, так как содержание клеток в G2 фазе является показателем устойчивости [20]. В растениях *Thellungiella botschantzevii*, выращенных при

высоких концентрациях NaCl и Na₂SO₄, не наблюдали существенных изменений в накоплении клеток по фазам клеточного цикла по сравнению с контролем. При сравнении с растениями *A. thaliana* в условиях сульфатного засоления количество клеток у *Thellungiella botschantzevii* в G₁ и S фазе возрастает в 2,2 раза, а количество клеток в G₂-фазе снижается в 2,4 раза (рис. 3). Таким образом, вид *Thellungiella botschantzevii* значительно превосходит *A. thaliana* по устойчивости к солям.

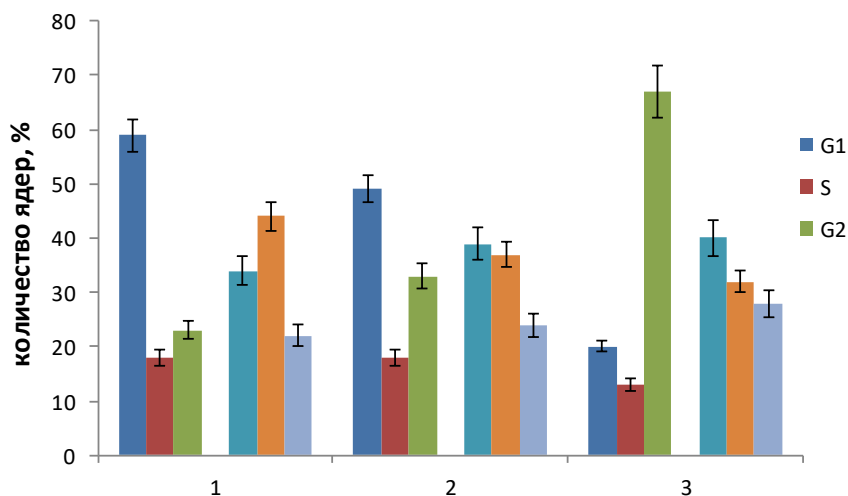


Рис. 3. Распределение клеток по фазам клеточного цикла у *A. thaliana* и *T. botschantzevii*: 1 – контроль; 2 – NaCl; 3 – Na₂SO₄; левые столбики – *A. thaliana*; правые – *T. botschantzevii*

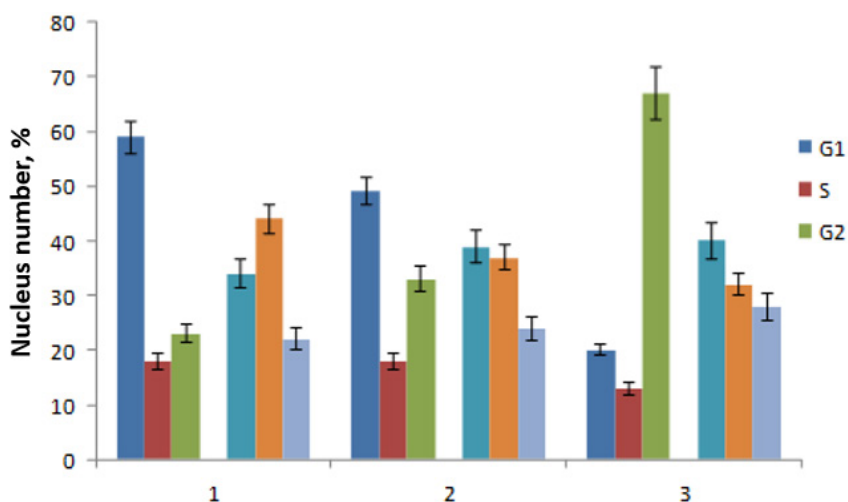


Fig. 3. Distribution of cells by phases of the cell cycle in *A. thaliana* and *T. botschantzevii*: 1 – control; 2 – NaCl; 3 – Na₂SO₄; left columns – *A. thaliana*; right columns – *T. botschantzevii*

Мы попытались косвенно оценить еще не определенный размер генома *Thellungiella botschantzevii* и сравнить его с известным размером генома *A. thaliana*. С этой целью мы провели количественную оценку содержания ДНК ядер клеток

растений цитофотометрическим методом, а также определили их площадь (табл.). При определении количества ДНК и площади хромоцентрических ядер клеток *Thellungiella botschantzevii* оказалось, что их значения примерно вдвое превышают аналогичные показатели *A. thaliana*, что указывает на удвоение хромосомного материала в ядрах *Thellungiella botschantzevii*. Таким образом, размер генома у *Thellungiella botschantzevii* оказался вдвое больше по сравнению с *A. thaliana*. Увеличение размера генома можно рассматривать как расширение адаптивных возможностей вида.

Содержание ДНК, площадь ядер и размер генома у *A. thaliana* и *Thellungiella botschantzevii*

Вид	Геном, 1С, пг	Сод. ДНК, 2С, пг	PL	Площадь ядер, мкм ²
<i>Arabidopsis thaliana</i>	0,16 ± 0,01	0,32±0,02	2	3,32±0,07
<i>Thellungiella botschantzevii</i>	0,35 ± 0,02	0,70± 0,05	2	7,47 ±0,15

DNA content, nuclei area, and genome size in *A. thaliana* and *Thellungiella botschantzevii*

Species	Genome, 1C, пг	DNA content, 2C, пг	PL	Nuclei area, μm ²
<i>Arabidopsis thaliana</i>	0.16 ± 0.01	0.32±0.02	2	3.32±0.07
<i>Thellungiella botschantzevii</i>	0.35 ± 0.02	0.70± 0.05	2	7.47 ±0.15

У исследуемых видов обнаружено увеличение уровня пloidности от 2С до 16С, но разное количество полиплоидных клеток (рис. 4). Так, у *Thellungiella botschantzevii* по сравнению с *A. thaliana* их больше на уровне 4С и 8С, что, по-видимому, придает растению устойчивость к стрессовым условиям. Это может свидетельствовать также о том, что такие растения характеризуются повышенной адаптацией к среде обитания и определяют параметр устойчивости. Известно, что естественная полиплоидность в природе распространена достаточно широко, особенно в районах с экстремальными условиями обитания.

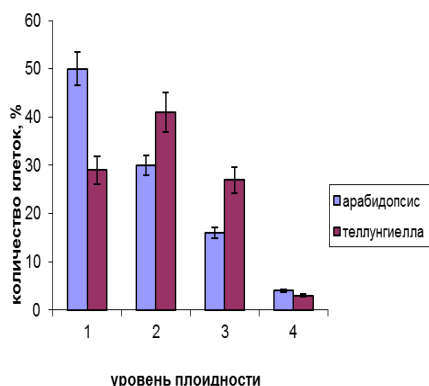


Рис. 4. Уровень пloidности и количество полиплоидных клеток у *A. thaliana* и *T. botschantzevii*: 1 – 2С; 2 – 4С; 3 – 8С; 4 – 16С

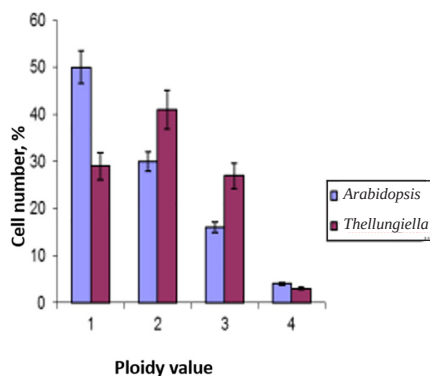


Fig. 4. Ploidy value and number of polyloid cells in *A. thaliana* and *T. botschantzevii*: 1 – 2C; 2 – 4C; 3 – 8C; 4 – 16C

Выводы

Таким образом, в результате анатомических исследований корней и листьев *Thellungiella botschantzevii* определена аккумуляция в клетках корня липидных и белковых включений; в эпидермальных клетках листьев — более плотное расположение устьиц. Изучение цитокинетических свойств растения экстремофила *Thellungiella botschantzevii* при высоких концентрациях NaCl и Na₂SO₄ позволило выявить структурно-функциональные преобразования на клеточном уровне и оценить действие засоления. Накопление клеток в фазе G1 и S свидетельствуют о большой адаптации *Thellungiella botschantzevii* к высоким концентрациям NaCl и Na₂SO₄ по сравнению с *A. thaliana*. Высокий уровень плоидности (до 16C) и содержание максимального количества полиплоидных клеток на уровне 4C и 8C придает растению устойчивость к стрессам. Определенный нами размер генома указывает на расширение адаптивных возможностей вида. Вид *Thellungiella botschantzevii* является уникальной моделью для разного рода исследований, в т. ч. генетических и может помочь в разработке предложений для повышения устойчивости сельскохозяйственных растений.

Библиографический список / References

- Wu HJ, Zhang Z, Wang JY, Oh DH, Dassanayake M, Liu B, et al. Insights into salt tolerance from the genome of *Thellungiella salsuginea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012; 109(30):12219—12224. doi: 10.1073/pnas.1209954109
1. Wang XJ, Shi DC, Wang XY, Wang J, Sun YS, Liu JQ. Evolutionary Migration of the Disjunct Salt Cress *Eutrema salsugineum* (= *Thellungiella salsuginea*, Brassicaceae) between Asia and North America. *PLOS ONE*. 2015; 10(5): e0124010. doi: 10.1371/journal.pone.0124010
 2. Wang J, Zhang Q, Cui F, Hou L, Zhao S, Xia H, et al. Genome-Wide Analysis of Gene Expression Provides New Insights into Cold Responses in *Thellungiella salsuginea*. *Front. Plant Sci*. 2017; 8:713. doi: 10.3389/fpls.2017.00713
 3. Inan G, Zhang Q, Li P, Wang Z, Cao Z, Zhang H, et al. Salt Cress. A Halophyte and Cryophyte Arabidopsis Relative Model System and Its Applicability to Molecular Genetic Analyses of Growth and Development of Extremophiles. *Plant Physiology*. 2004; 135(3): 1718—1737. doi: 10.1104/pp.104.041723
 4. Orsini F, D’Urzo MP, Inan G, Serra S, Oh DH, Mickelbart MV, et al. A comparative study of salt tolerance parameters in 11 wild relatives of *Arabidopsis thaliana*. *J Exp Bot*. 2010; 61(13):3787—3798. doi: 10.1093/jxb/erq188

5. Wiczarz M., Gubernator B, Kruk J, Niewiadomska E. Enhanced chloroplastic generation of H₂O₂ in stress-resistant *Thellungiella salsuginea* in comparison to *Arabidopsis thaliana*. *Physiologia Plantarum*. 2015; 153(3):467—476. doi: 10.1111/ppl.12248
6. Yang R, Jarvis D, Chen H, Beilstein M, Grimwood J, Jenkins J, et al. The Reference Genome of the Halophytic Plant *Eutrema salsugineum*. *Front. Plant Sci*. 2013; 4:46. doi: 10.3389/fpls.2013.00046
7. Leonova T, Ovchinnikova V, Souer E, de Boer A, Babakov A. Isolated *Thellungiella* Shoots do not Require Roots to Survive NaCl and Na₂SO₄ Salt Stress. *Plant Signaling & Behavior*. 2009; 4(11):1059—1062. doi: 10.4161/psb.4.11.9799
8. Radyukina NL, Ivanov YV, Kartashov AV, Pashkovskiy PP, Shevyakova NI, Kuznetsov VV. Regulation of gene expression governing proline metabolism in *Thellungiella salsuginea* by NaCl and paraquat. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2011; 58:643. doi: 10.1134/S102144371104011X
Radyukina N.L., Ivanov Yu.V., Kartashov A.V., Pashkovskiy P.P., Shevyakova N.I., Kuznetsov V.V. Regulation of gene expression governing proline metabolism in *Thellungiella salsuginea* by NaCl and paraquat // Физиология растений. 2011. Т. 58. № 4. С. 558—567.
9. Volkov V, Wang B, Dominy PJ, Fricke W, Amtmann A. *Thellungiella halophila*, a salt-tolerant relative of *Arabidopsis thaliana*, possesses effective mechanisms to discriminate between potassium and sodium. *Plant, Cell and Environment*. 2004; 27(1):1—14. doi: 10.1046/j.0016-8025.2003.01116.x
10. Fang Q, Xu Z, Song R. Cloning, characterization and genetic engineering of FLC homolog in *Thellungiella halophila*. *Biochem Biophys Res Commun*. 2006; 347(3):707—714. doi: 10.1016/j.bbrc.2006.06.165
11. Qiang XJ, Yu GH, Qiang LL, Sun LL, Zhang SH, Wei LI. *Thellungiella halophila* ThPIP1 gene enhances the tolerance of the transgenic rice to salt stress. *Journal of Integrative Agriculture*. 2015; 14(10):1911—1922. doi: 10.1016/S2095-3119(15)61045-0
12. Wang H, Wang H, Shao H, Tang X. Recent Advances in Utilizing Transcription Factors to Improve Plant Abiotic Stress Tolerance by Transgenic Technology. *Front. Plant Sci*. 2016; 7:67. doi: 10.3389/fpls.2016.00067
13. Wong CE, Li Y, Whitty BR, Díaz-Camino C, Akhter SR, Brandle JE, et al. Expressed sequence tags from the Yukon ecotype of *Thellungiella* reveal that gene expression in response to cold, drought and salinity shows little overlap. *Plant Mol Biol*. 2005; 58(4):561—574. doi: 10.1007/s11103-005-6163-6
14. Kononenko NV, Leonova TG, Chikida NN, Mitrofanova OP, Polyakov VY. Use of cytophotometry for determination of salt resistance of wild plants. *Russian agricultural sciences*. 2014; 40(6):408—410 doi: 10.3103/S1068367414060123
Кононенко Н.В., Леонова Т.Г., Чикида Н.Н., Митрофанова О.П., Поляков В.Ю. Использование метода цитофотометрии для определения солеустойчивости дикорастущих растений // Доклады академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 5. С. 13—15.
15. Shamustakimova AO, Leonov TG, Taranov VV, de Boer AH, Babakov AV. Cold stress increases salt tolerance of the extremophytes *Eutrema salsugineum* (*Thellungiella salsuginea*) and *Eutrema* (*Thellungiella*) *botschantzevii*. *Journal of Plant Physiology*. 2017; 208:128—138. doi: 10.1016/j.jplph.2016.10.009
16. Singer M, Berg P. *Geny i genomy* [Genes and genomes]. Moscow: Mir Publ.; 1998. (In Russ).
Сингер М., Берг П. Гены и геномы. М.: Мир, 1998.
17. Kaul S, Koo HL, Jenkins J, Rizzo M, Rooney T, Tallon LJ. Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature*. 2000; 408(6814):796—815. doi: 10.1038/35048692
18. Chaban IA, Kononenko NV, Gulevich AA, Bogoutdinova LR, Khaliluev MR, Baranova EN. Morphological Features of the Anther Development in Tomato Plants with Non-Specific Male Sterility. *Biology*. 2020; 9(2):32. doi: 10.3390/biology9020032
19. Lutsenko EK, Marushko EA, Kononenko NV, Leonova TG. Effects of Fusicoccin on the Early Stages of Sorghum Growth at High NaCl Concentrations. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2005; 52(3):332—337. doi: 10.1007/s11183-005-0050-5
Луценко Э.К., Марушко Е.А., Кононенко Н.В., Леонова Т.Г. Влияние фузикоцина на ранние этапы роста сорго при высоких концентрациях NaCl // Физиология растений. 2005. Т. 52. № 3. С. 378—383.

Об авторах:

Кононенко Неонила Васильевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной биологии Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии; Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: nilava@mail.ru

Леонова Татьяна Геннадиевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории стрессоустойчивости растений, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии; Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: tleon2007@yandex.ru

Чабан Инна Анатольевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной биологии, Всероссийский НИИ сельскохозяйственной биотехнологии; Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: inna_chaban@rambler.ru

About authors:

Kononenko Neonila Vasilevna — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Cell Biology, Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology; 42 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: nilava@mail.ru

Leonova Tatyana Gennadievna — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of plant resistance to stress, Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology; 42 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: tleon2007@yandex.ru

Chaban Inna Anatolievna — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Cell Biology, Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology; 42 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: inna_chaban@rambler.ru



DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-242-252
УДК 633.491:577.13:577.164.21

Научная статья / Research article

Оценка содержания веществ с антиоксидантной активностью в образцах картофеля коллекции исходных родительских форм Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха

Е.М. Гинс^{1, 2}, Е.А. Москалев^{1, 2}, О.Б. Поливанова^{1, 3},
А.В. Митюшкин¹, Е.А. Симаков¹

¹Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха,
пос. Красково, Московская обл., Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

³Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация
*katya.888888@yandex.ru

Аннотация. В настоящий момент имеются многочисленные доказательства положительной роли антиоксидантов в реакциях, защищающих не только растения, но и человека от окислительного стресса. К растительным антиоксидантам относят фенольные соединения: фенольные кислоты, флавоноиды, антоцианы, а также витамин С. Картофель — одна из наиболее потребляемых культур в мире и может служить многообещающим источником антиоксидантов в питании человека. Целью работы является сравнительное исследование содержания низкомолекулярных антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, фенольных соединений, флавоноидов, суммарного содержания антиоксидантов) в 15 образцах картофеля с пигментированной и белой мякотью (*Solanum tuberosum* L.) для выявления генотипов с повышенной антиоксидантной активностью. Растения картофеля выращивали в условиях открытого грунта. Исследования проводились в 2019 г. в ФГБНУ «ФНЦ овощеводства» через неделю после уборки урожая. Анализ суммарного содержания растворимых фенольных соединений показал, что практически все исследуемые сорта содержат существенно больше фенольных соединений в кожуре, чем в мякоти. Максимальное количество фенольных соединений выявлено в мякоти картофеля у сортов Монах с фиолетовой мякотью (69,33 мг/100 г сырой массы) и Вымпел со светло-желтой мякотью (67,93 мг/100 г сырой массы). Наибольшее содержание флавоноидов в мякоти отмечено у сортов Жуковский ранний с белой мякотью (12,49 мг/100 г сырой массы) и Тайфун с белой мякотью (11,06 мг/100 г сырой массы). Наиболее высокое содержание аскорбиновой кислоты определено у сортов Гала с темно-желтой мякотью (15,84 мг%), Голубизна с белой мякотью и Ред Скарлетт с желтой мякотью (14,08 мг%). Максимальное суммарное содержание гидрофобных антиоксидантов выявлено у сортов Жуковский ранний с белой мякотью (0,38 мг экв. ГК/г) и Ред Скарлетт с желтой мякотью (0,37 мг экв. ГК/г).

© Гинс Е.М., Москалев Е.А., Поливанова О.Б., Митюшкин А.В., Симаков Е.А., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Ключевые слова: картофель, *Solanum tuberosum* L., аскорбиновая кислота, фенольные соединения, флавоноиды, суммарное содержание антиоксидантов

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 25 июня 2020 г. Принята к публикации: 6 августа 2020 г.

Для цитирования:

Гинс Е.М., Москалев Е.А., Поливанова О.Б., Митюшкин А.В., Симаков Е.А. Оценка содержания веществ с антиоксидантной активностью в образцах картофеля коллекции исходных родительских форм Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 242—252. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-242-252

Antioxidant contents in potato cultivars from the collection of Russian Potato Research Center

Ekaterina M. Gins*^{1,2}, Evgeny A. Moskaev^{1,2}, Oksana B. Polivanova^{1,3},
Aleksy V. Mityushkin¹, Evgeny A. Simakov¹

¹Russian Potato Research Center, Moscow region, Russian Federation

²Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

³Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation

*katya.888888@yandex.ru

Abstract. Antioxidants protect not only plants, but also humans from oxidative stress. Plant antioxidants include phenolic compounds: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, and vitamin C. Potatoes are one of the most consumed crops in the world and can serve as a promising source of antioxidants in the human diet. The aim of the study was to compare secondary low-molecular-weight antioxidants (ascorbic acid, phenolic compounds, flavonoids, total antioxidant content) in 15 cultivars of potatoes with pigmented and white pulp (*Solanum tuberosum* L.) to identify genotypes having increased antioxidant activity. The research was conducted in 2019, a week after harvesting. Plants were grown on sod-podzolic soils in the fields of Federal Scientific Vegetable Center. Analysis of the total content of soluble phenolic compounds showed that almost all the studied varieties contained significantly more phenolic compounds in the skin than in the pulp. The maximum level of phenolic compounds was found in Monarkh (purple pulp) and Vympel (light yellow pulp) — 69.33 mg/100 g and 67.93 mg/100 g of fresh mass, respectively. The highest amount of flavonoids was observed in Zhukovsky ranniy (white pulp) and Tayfun (white pulp) — 12.49 mg/100 g and 11.06 mg/100 g of fresh mass, respectively. The highest content of ascorbic acid was determined in Gala (dark yellow pulp) — 15.84, Golubizna (white pulp) and Red Scarlett (yellow pulp) — 14.08 mg%. The maximum total content of hydrophobic antioxidants was found in Zhukovsky ranniy (white pulp) — 0.38 mg. eq. HA/g and Red Scarlett (yellow pulp) — 0.37 mg. eq. HA/g.

Keywords: potatoes, *Solanum tuberosum* L., ascorbic acid, phenolic compounds, flavonoids, total antioxidant content

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 25 June 2020. Accepted: 6 August 2020

For citation:

Gins EM, Moskalev EA, Polivanova OB, Mityushkin AV, Simakov EA. Antioxidant contents in potato cultivars from the collection of Russian Potato Research Center. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3):242—252. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-242-252

Введение

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) — пятая по значимости культура в мире после сахарного тростника, кукурузы, пшеницы и риса с производством за 2018 г. более 368 млн. т продукции [1]. В России картофель считают самой распространенной культурой после зерновых. Картофель особенно известен как источник высококачественных белков, углеводов, витаминов С, В6, В3 и некоторых минералов, таких как калий, фосфор и магний [2].

Некоторые пигментированные сорта картофеля содержат значительное количество фитонутриентов, а именно полифенольных соединений. К таким соединениям относят антоцианы — природные пигменты, отвечающие за розовую, фиолетовую, синюю и красную окраску мякоти картофеля. Помимо сильных антиоксидантных свойств антоцианов представляет огромный интерес их использование в качестве натуральных пищевых красителей [3, 4]. Выявлена высокая положительная корреляция между содержанием фенольных соединений и антоцианов в мякоти картофеля и антиоксидантной активностью.

В настоящий момент имеются многочисленные доказательства положительной роли антиоксидантов в реакциях, защищающих не только растения, но и человека от окислительного стресса. Окислительный стресс связан с индукцией многих хронических и нейродегенеративных заболеваний, включая атеросклероз, диабет, иммуносупрессию, сердечно-сосудистые заболевания и др. [5]. Антиоксиданты нейтрализуют свободные радикалы и другие активные формы кислорода, образующиеся в результате клеточного метаболизма [6]. Диетическое потребление продуктов, богатых природными антиоксидантами, коррелирует со снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний и некоторых видов рака [7].

Картофель является основным диетическим источником фенолов и ряда антиоксидантов. Было исследовано, что антиоксидантная активность картофеля была выше по сравнению с луком, морковью и болгарским перцем и уступала только брокколи [8].

Важным антиоксидантом, содержащимся в картофеле, является витамин С. Большинство животных способны синтезировать аскорбиновую кислоту из глюкозы, но в организме человека отсутствует фермент, участвующий в синтезе витамина С (гулонолактонооксидазы), и поэтому аскорбиновая кислота должна обязательно присутствовать в продуктах питания [9]. Аскорбиновая кислота поддерживает иммунную систему человека, играет важную роль в качестве кофактора фермента во многих метаболических функциях и повышает биодоступность негемового железа у человека.

Содержание аскорбиновой кислоты и фенольных соединений в клубнях картофеля зависит от сорта [10—12]. Сорта картофеля с антоциановой окраской мякоти

содержат в 3–4 раза больше фенольных кислот, но в 1,4 раза меньше аскорбиновой кислоты, чем традиционные сорта с белой мякотью [12]. Картофель с окрашенной мякотью также обладает более высокой антиоксидантной активностью, чем картофель с белой мякотью, что, скорее всего, связано с наличием антоцианов (помимо наличия фенольных кислот). Красные клубни картофеля содержат гликозиды пеларгонидина и пеонидина, фиолетовые клубни — гликозиды мальвидина и петунидина [11, 12].

Содержание аскорбиновой кислоты и фенольных соединений картофеля изменяется в зависимости от условий выращивания, агротехнических мероприятий и системы удобрений [13, 14]. Кроме того, химический состав и физические характеристики клубней картофеля могут изменяться в процессе готовки [15, 16]. При этом уровень аскорбиновой кислоты и фенольных соединений может снижаться в зависимости от способов кулинарной обработки и хранения [16–18]. Поскольку картофель является важной и доступной культурой для населения, а пигментированный картофель — естественным источником фенольных соединений, то возникает необходимость более глубокого изучения антиоксидантной активности картофеля с белой и пигментированной мякотью.

Цель работы — оценка содержания вторичных низкомолекулярных антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, фенольных соединений, флавоноидов и суммарного содержания антиоксидантов) в образцах картофеля для выявления генотипов с повышенной антиоксидантной активностью.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований служили 15 сортообразцов картофеля коллекции исходных родительских форм с разной окраской мякоти (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика сортообразцов картофеля коллекции исходных родительских форм Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха

№	Сортообразец	Цвет мякоти	Цвет клубня	Спелость
1	Вымпел	Светло-желтая	Желтый	Среднеспелый
2	Гала	Темно-желтая	Желтый	Среднеранний
3	Гибрид 1683–13	Бело-розовая	Красный	Среднеспелый
4	Голубизна	Белая	Желтый	Среднеспелый
5	Гранд	Желтая	Красный	Среднеспелый
6	Гулливёр	Светло-желтая	Желтый	Ранний
7	Жуковский ранний	Белая	Красный	Ранний
8	Мечта	Темно-желтая	Желтый	Среднеспелый
9	Монах	Фиолетовая мякоть	Фиолетовый	Среднеранний
10	Ред Скарлетт	Желтая	Красный	Ранний
11	Синеглазка 2016	Белая	Частично синие	Среднеспелый
12	Сюрприз	Розовая	Красный	Среднеранний
13	Тайфун	Белая	Красный	Среднеспелый
14	Удача	Белая	Желтый	Ранний
15	Фиолетовый	Фиолетовая	Фиолетовый	Среднепоздний

Table 1

Characteristics of potato cultivars from the collection of Russian Potato Research Center

№	Cultivar	Pulp color	Tuber color	Maturity
1	Vympel	Light yellow	Yellow	Medium
2	Gala	Dark yellow	Yellow	Medium early
3	Hybrid 1683–13	White-pink	Red	Medium
4	Golubizna	White	Yellow	Medium
5	Grand	Yellow	Red	Medium
6	Gulliver	Light yellow	Yellow	Early
7	Zhukovsky ranniy	White	Red	Early
8	Mechta	Dark yellow	Yellow	Medium
9	Monakh	Purple	Purple	Medium early
10	Red Scarlett	Yellow	Red	Early
11	Sineglazka 2016	White	Partially blue	Medium
12	Syurpriz	Pink	Red	Medium early
13	Tayfun	White	Red	Medium
14	Udacha	White	Yellow	Early
15	Fioletovy	Purple	Purple	Medium late

Растения были выращены на дерново-подзолистых почвах при естественной радиации в ФГБНУ «ФНЦ овощеводства» в 2019 г. в условиях открытого грунта. Исследование проводили через неделю после уборки урожая. Клубни хранились при температуре 3...4 °С в контейнерах.

Суммарное содержание растворимых фенольных соединений определяли спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина — Чокальтеу [19]. Суммарное содержание флавоноидов определяли спектрофотометрическим методом, основанном на реакции комплексообразования с алюминием [20]. Содержание восстановленной формы аскорбиновой кислоты (АК) определяли йодометрическим методом, основанном на титровании аскорбиновой кислоты в окрашенных экстрактах йодатом калия в кислой среде в присутствии йодистого калия и крахмала в модификации Сапожниковой и Дорофеевой [21]. Суммарное содержание антиоксидантов (ССА) определяли амперометрическим методом [22], результат выражали в эквивалентах галловой кислоты — мг экв. ГК/г. Измельчение образцов проводили в присутствии определенного объема экстрагирующей жидкости (бидистиллированная вода, 96 % этиловый спирт) на гомогенизаторе при температуре 20...25 °С. Далее гомогенат центрифугировали при 10000 g 15 мин при 4 °С. Аликвоту супернатанта использовали для определения содержания антиоксидантов, при необходимости разбавляя. Измерения проводили на приборе «Цвет-Яуза-01-АА» в постоянно-токовом режиме [23].

Все измерения осуществлялись в трехкратной повторности.

Результаты определения суммарного содержания растворимых фенольных соединений, флавоноидов и антиоксидантов представлены как среднее значение ± доверительный интервал по результатам трех измерений. Значимость различий определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа с уровнем значимости $P < 0,05$.

Результаты и обсуждения

Содержание аскорбиновой кислоты в клубнях картофеля, определенное в 2019 г. после уборки урожая, через неделю было более высоким у сортов: Гала — 15,84 мг%, Ред Скарлетт — 14,08 мг% и Голубизна — 14,08 мг%, а самым низким содержанием витамина С отличались сорта Мечта — 7,04 мг% и Тайфун — 7,04 мг%. Интересно отметить, что количество аскорбиновой кислоты в клубнях картофеля сорта Гала с темно-желтой мякотью было выше в 2,25 раза, чем в клубнях картофеля сорта Мечта с мякотью такого же цвета (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Содержание аскорбиновой кислоты в мякоти сортов картофеля, мг/%

Ascorbic acid content in potato pulp, mg%

Сортообразец	Витамин С, мг%
Вымпел	8,80±0,7
Гала	15,84±1,1
Гибрид 1683	8,80±0,7
Голубизна	14,08±1,1
Гранд	10,56±1,0
Гуливер	12,32±1,1
Жуковский ранний	8,80±0,7
Мечта	7,04±0,7
Монах	10,56±1,0
Ред Скарлетт	14,08±1,1
Синеглазка	12,32±1,1
Сюрприз	8,80±0,7
Тайфун	7,04±0,7
Удача	10,56±1,0
Фиолетовый	8,80±0,7

Cultivar	Vitamin C, mg%
Vympel	8.80±0.7
Gala	15.84±1.1
Hybrid 1683–13	8.80±0.7
Golubizna	14.08±1.1
Grand	10.56±1.0
Gulliver	12.32±1.1
Zhukovsky ranniy	8.80±0.7
Mechta	7.04±0.7
Monakh	10.56±1.0
Red Scarlett	14.08±1.1
Sineglazka 2016	12.32±1.1
Syurpriz	8.80±0.7
Tayfun	7.04±0.7
Udacha	10.56±1.0
Fioletovy	8.80±0.7

Содержание аскорбиновой кислоты составляло 8,8 мг% у следующих сортов картофеля с разноокрашенной мякотью: Гибрид 1683—13 с бело-розовой мякотью, Фиолетовый с фиолетовой мякотью, Сюрприз с розовой мякотью, Жуковский ранний с белой мякотью, Вымпел со светло-желтой мякотью.

Анализ суммарного содержания растворимых фенольных соединений показал, что практически все исследуемые сорта содержат значительно больше фенольных соединений в кожуре, чем в мякоти, особенно пигментированные (табл. 3). Самые высокие концентрации фенольных соединений, мг/100 г сырой массы, зафиксированы в кожуре цветных сортов Тайфун (152,40±32,07), Фиолетовый (200,08±2,72), Сюрприз (211,32±10,46), Монах (374,21±39,50). Следует отметить, что сорта с белой кожурой (Гуливер) и желтой кожурой (Вымпел) также содержали высокую концентрацию фенольных соединений — 119,38±17,37 и 109,34±41,80 мг/100 г сырой массы соответственно. Максимальная концентрация фенольных соединений была отмечена в мякоти сортов Монах (фиолетовая мякоть) и Вымпел (желтая мякоть) и составила 69,33±17,79 и 67,93±6,40 мг/100 г сырой массы соответственно.

Таблица 3

**Суммарное содержание растворимых фенольных соединений и флавоноидов
в картофеле, мг/100 г сырой массы (2019 г.)**

Сортообразец	Фенольные соединения		Флавоноиды	
	Кожура	Мякоть	Кожура	Мякоть
Вымпел	109,34±41,80	67,93±6,40	21,704±8,73	9,82±2,65
Гала	29,97±5,25	42,70±9,94	14,83±1,09	8,58±0,72
Гибрид 1683	73,70 ±2,46	11,01±4,48	14,29±1,65	9,25±0,88
Голубизна	89,90±19,58	54,84±3,03	16,91±6,63	5,47±3,36
Гранд	88,37 ±13,48	54,53±17,92	30,14±4,54	7,53±0,93
Гуливер	119,38±17,37	22,22±12,63	27,43±3,81	7,95±0,71
Жуковский ранний	73,49±7,76	20,78±4,10	15,05±3,27	12,49±1,21
Мечта	67,29±3,64	56,49±18,51	13,03±1,25	7,72±0,74
Монах	374,21±39,50	69,33±17,79	41,40±2,65	10,43±1,21
Ред Скарлетт	83,09±2,59	57,83±11,04	20,18±3,57	3,79±1,37
Синеглазка	89,78±14,10	48,97±16,52	22,82±0,53	6,77±2,26
Сюрприз	211,32±10,46	28,61±13,15	32,67±3,90	7,04±0,14
Тайфун	152,40±32,07	30,84±7,17	24,21±3,88	11,06±3,94
Удача	52,95±4,47	54,53±17,92	17,52±0,95	7,63±0,34
Фиолетовый	200,08±2,72	50,93±23,40	26,35±3,88	10,80±0,96

Примечание. Результаты представлены как среднее значение ± доверительный интервал при уровне значимости $P < 0,05$.

Table 3

**Total content of soluble phenolic compounds and flavonoids in potatoes,
mg/100 g fr wt (2019)**

Cultivar	Phenolic compounds		Flavonoids	
	Peel	Pulp	Peel	Pulp
Vympel	109.34±41.80	67.93±6.40	21.704±8.73	9.82±2.65
Gala	29.97±5.25	42.70±9.94	14.83±1.09	8.58±0.72
Hybrid 1683–13	73.70 ±2.46	11.01±4.48	14.29±1.65	9.25±0.88
Golubizna	89.90±19.58	54.84±3.03	16.91±6.63	5.47±3.36
Grand	88.37 ±13.48	54.53±17.92	30.14±4.54	7.53±0.93
Gulliver	119.38±17.37	22.22±12.63	27.43±3.81	7.95±0.71
Zhukovsky ranniy	73.49±7.76	20.78±4.10	15.05±3.27	12.49±1.21
Mechta	67.29±3.64	56.49±18.51	13.03±1.25	7.72±0.74
Monakh	374.21±39.50	69.33±17.79	41.40±2.65	10.43±1.21
Red Scarlett	83.09±2.59	57.83±11.04	20.18±3.57	3.79±1.37
Sineglazka 2016	89.78±14.10	48.97±16.52	22.82±0.53	6.77±2.26
Syurpriz	211.32±10.46	28.61±13.15	32.67±3.90	7.04±0.14
Tayfun	152.40±32.07	30.84±7.17	24.21±3.88	11.06±3.94
Udacha	52.95±4.47	54.53±17.92	17.52±0.95	7.63±0.34
Fioletovy	200.08±2.72	50.93±23.40	26.35±3.88	10.80±0.96

Note. Results are presented as mean ± confidence interval at a significance level of $P < 0.05$.

В соответствии с ранее опубликованными данными, содержание фенольных соединений и антиоксидантная активность в среднем выше у цветных сортов [24, 25]. Но некоторые исследования указывают на то, что суммарное содержание фенольных соединений определяется генотипом и не зависит от окраски клубня [8].

Схожие закономерности были установлены для суммарного содержания флавоноидов. Для всех сортов концентрация флавоноидов в кожуре была выше, чем в мякоти. Наибольшее содержание, мг/100 г сырой массы, флавоноидов было зафиксировано в кожуре цветных сортов Гранд (30,14±4,54), Сюрприз (32,67±3,90), Монах (41,40±2,65). Больше всего флавоноидов, мг/100 г сырой массы, было отмечено в мякоти сортов Фиолетовый (10,80±0,96), Тайфун (11,06±3,94), Жуковский ранний (12,49±1,21).

На основании данных о суммарном содержании низкомолекулярных антиоксидантов в спиртовых экстрактах клубней картофеля изученных сортов оценивали эффективность функционирования системы антиоксидантной защиты.

Уровень суммарного содержания гидрофобных антиоксидантов в свежескопанных клубнях урожая 2019 г. был максимальным и практически одинаковым у ранних сортов Жуковский ранний и Ред Скарлет и составлял соответственно — 0,38 и 0,37 мг экв. ГК/г. Самое низкое количество гидрофобных антиоксидантов было определено у сорта Гранд с желтой мякотью — 0,14 мг экв. ГК/г (табл. 4).

Таблица 4

Суммарное содержание спирторастворимых низкомолекулярных антиоксидантов в мякоти картофеля

Сортообразец	ССА, С2Р5ОН мг. экв. ГК/г	±ΔX, мг. экв. ГК / г
Гибрид 1683	0,33	0,02
Гранд	0,14	0,01
Жуковский ранний	0,38	0,02
Монах	0,25	0,01
Ред Скарлет	0,37	0,02
Синеглазка	0,20	0,01
Сюрприз	0,25	0,01
Тайфун	0,17	0,01
Фиолетовый	0,27	0,01

Примечание. Результаты представлены как среднее значение ± доверительный интервал при уровне значимости $P < 0,05$.

Table 4

Total content of alcohol-soluble low molecular weight antioxidants in potato pulp

Cultivar	SSA, C2P5OH mg. eq. HA/g	±ΔX, mg. eq. BG/g
Hybrid 1683–13	0.33	0.02
Grand	0.14	0.01
Zhukovsky ranniy	0.38	0.02
Monakh	0.25	0.01
Red Scarlett	0.37	0.02
Sineglazka 2016	0.20	0.01
Syurpriz	0.25	0.01
Tayfun	0.17	0.01
Fioletovy	0.27	0.01

Note. Results are presented as mean ± confidence interval at a significance level of $P < 0.05$.

Заключение

Показано, что самые высокие концентрации, мг/100 г сырой массы, фенольных соединений в кожуре зафиксированы у сортов: Монах с фиолетовой кожурой — $374,21 \pm 39,50$, Сюрприз с красной кожурой — $211,32 \pm 10,46$, Фиолетовый с фиолетовой кожурой — $200,08 \pm 2,72$.

Максимальное содержание растворимых фенольных соединений в мякоти картофеля было выявлено у сортов Монах с фиолетовой мякотью — $69,33 \pm 17,79$ мг/100 г сырой массы и Вымпел со светло-желтой мякотью — $67,93 \pm 6,40$ мг/100 г сырой массы. Наименьшее содержание растворимых фенольных соединений было выявлено у сортообразца Гибрид 1683—13 с бело-розовой мякотью — $11,01 \pm 4,48$ мг/100 г сырой массы.

Наибольшее содержание флавоноидов было зафиксировано в кожуре сортов Монах — $41,40 \pm 2,65$, Сюрприз — $32,67 \pm 3,90$ и Гранд — $30,14 \pm 4,54$ мг/100 г сырой массы.

Наибольшее содержание, мг/100 г сырой массы, флавоноидов в мякоти отмечено у сортов Жуковский ранний с белой мякотью — $12,49 \pm 1,21$ и Тайфун с белой мякотью — $11,06 \pm 3,94$.

Наиболее высокое содержание аскорбиновой кислоты определено у сортов Гала с темно-желтой мякотью — $15,84$ мг%, Голубизна с белой мякотью и Ред Скарлетт с желтой мякотью — $14,08$ мг%.

Максимальное суммарное содержание гидрофобных антиоксидантов выявлено у сортов Жуковский ранний с белой мякотью — $0,38$ мг экв. ГК/г и Ред Скарлетт с желтой мякотью — $0,37$ мг экв. ГК/г.

Изученные сорта картофеля коллекции исходных родительских форм Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха различаются по содержанию аскорбиновой кислоты, фенольных соединений, флавоноидов, суммарному содержанию антиоксидантов, что определяет их пищевую ценность и пригодность к промышленной переработке.

Библиографический список / References

1. FAOSTAT. Crop production. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/> [Accessed 18th April 2020].
2. Andre CM, Ghislain M, Bertin P, Oufir M, del Rosario Herrera M, Hoffmann L, et al. Andean Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007; 55(2):366—378. doi: 10.1021/jf062740i
3. Fan G, Han Y, Gu Z, Gu F. Composition and colour stability of anthocyanins extracted from fermented purple sweet potato culture. *LWT – Food Science and Technology*. 2008; 41(8):1412—1416. doi: 10.1016/j.lwt.2007.09.003
4. Kita A, Bąkowska-Barczak A, Hamouz K, Kułakowska K, Lisińska G. The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.) *Journal of Food Composition and Analysis*. 2013; 32(2):169—175. doi: 10.1016/j.jfca.2013.09.006
5. Young IS, Woodside JV. Antioxidants in health and disease. *J Clin Pathol*. 2001; 54(3):176—186.
6. Skrovankova S, Sumczynski D, Mlcek J, Jurikova T, Sochor J. Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *Int J Mol Sci*. 2015; 16(10):24673—24706. doi: 10.3390/ijms161024673
7. Hercberg S, Galan P, Preziosi P, Alfarez MJ, Vazquez C. The potential role of antioxidant vitamins in preventing cardiovascular diseases and cancers. *Nutrition*. 1998; 14(6):513—520. doi: 10.1016/S0899-9007(98)00040-9

8. Al-Saikhan MS, Howard LR, Miller JC. Antioxidant activity and total phenolics in different genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Science*. 1995; 60(2):341–343. doi: 10.1111/j.1365–2621.1995.tb05668.x
9. Hacışevki A. An overview of ascorbic acid biochemistry. *J Fac Pharm Ankara*. 2009; 38(3):233–255.
10. Koyuncu MA, Dilmacunal T. Determination of vitamin C and organic acid changes in strawberry by HPLC during cold storage. *Not Bot Horti Agrobot Cluj*. 2010;38(3):95–98. doi: 10.15835/nbha3834819
11. Lachman J, Hamouz K. Red and purple coloured potatoes as a significant antioxidant source in human nutrition – a review. *Plant Soil Environ*. 2005; 51(11):477–482.
12. Lewis CE, Walkel JR, Lancaster JE, Sutton KH. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I: Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L. *J Sci Food Agric*. 1998;77(1): 45–57. doi: 10.1002/(SICI)1097–0010(199805)77:1<45::AID-JSFA1>3.0.CO;2-S
13. Goyer A, Picard M, Hellmann HA, Mooney SL. Effect of low temperature storage on the content of folate, vitamin B6, ascorbic acid, chlorogenic acid, tyrosine, and phenylalanine in potatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019; 99(10):4842–4848. doi: 10.1002/jsfa.9750
14. Hajšlová J, Schulzová V, Slanina P, Janné K, Hellenäs KE, Andersson CH. Quality of organically and conventionally grown potatoes: Four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties. *Food Addit Contam*. 2005; 22(6):514–534. doi: 10.1080/02652030500137827
15. Burg P, Fraile P. Vitamin C destruction during the cooking of a potato dish. *LWT-Food Science and Technology*. 1995; 28(5):506–514. doi: 10.1006/fstl.1995.0085
16. Burgos G, Auqui S, Amoros W, Salas E, Bonierbale M. Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *J Food Comp Anal*. 2009; 22(6):533–538. doi: 10.1016/j.jfca.2008.05.013
17. Rytel E, Lisińska G. Changes in the content of vitamin C in potato tubers during the cooking and processing to fried and dried products. *Zywn Nauk Technol Ja*. 2007; 6(55): 186–197.
18. Grudzińska M, Czerko Z, Zarzyńska K, Borowska-Komenda M. Bioactive Compounds in Potato Tubers: Effects of Farming System, Cooking Method, and Flesh Color. *PLoS ONE*. 2016; 11(5): e0153980. doi: 10.1371/journal.pone.0153980
19. Ainsworth EA, Gillespie KM. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols*. 2007; 2(4):875–877. doi: 10.1038/nprot.2007.102
20. Garg D, Shaikh A, Marar T. In-vitro antioxidant activity and phytochemical analysis in extracts of *Hibiscus rosa-sinensis* stem and leaves. *Free Radical Antioxidants*. 2012; 2(3):41–46. doi: 10.5530/ax.2012.3.6
21. Sapozhnikova EV, Dorofeeva LS. Determination of content of ascorbic acid in colored plant extracts using iodometric method. *Food industry*. 1966; (5): 29–31. (In Russ.)
Сапожникова Е.В., Дорофеева Л.С. Определение содержания аскорбиновой кислоты в окрашенных растительных экстрактах йодометрическим методом // Консервная и овощесушильная промышленность. 1966. № 5. С. 29–31.
22. Gins MS, Gins VK, Baikov AA, Rabinovich AM, Kononkov PF, Solntsev MK. Antioxidant content in medicinal plants and vegetables with therapeutic potential for treating cancer. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2013; 11(2):10–15. (In Russ.)
Гинс М.С., Гинс В.К., Байков А.А., Рабинович А.М., Кононков П.Ф., Солнцев М.К. Содержание антиоксидантов в лекарственных и овощных растениях, проявляющих противоопухолевую активность // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2013. Т. 11. № 2. С. 10–15.
23. Gins MS, Gins VK, Baikov AA, Romanova EV, Kononkov PF, Torres MK, Lapo OA. *Metodika analiza summarnogo sodержaniya antioksidantov v listovykh i li-stostebel'nykh ovoshchnykh kul'turakh* [Method for analysis of total content of antioxidants in leaf and leafy vegetable crops]. Moscow: PFUR Publ.; 2013. (In Russ.)
Гинс М.С., Гинс В.К., Байков А.А., Романова Е.В., Кононков П.Ф. Методика анализа суммарного содержания антиоксидантов в листовых и листостебельных овощных культурах. М.: РУДН, 2013. 40 с.
24. Visvanathan R, Jayathilake C, Chaminda Jayawardana B, Liyanage R. Health-beneficial properties of potato and compounds of interest. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016; 96(15):4850–4860. doi: 10.1002/jsfa.7848
25. Lachman J, Hamouz K, Orsak M, Pivec V, Dvorak P. The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes. *Sci Hort*. 2008;117(2):109–114. doi: 10.1016/j.scienta.2008.03.030

Об авторах:

Гинс Екатерина Муратовна — аспирант, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Российская Федерация, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, 140051, ул. Лорха, д. 23; e-mail: katya.888888@yandex.ru

Москалев Евгений Александрович — аспирант, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Российская Федерация, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, 140051, ул. Лорха, д. 23; e-mail: kmlgwork@mail.ru

Поливанова Оксана Борисовна — кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Российская Федерация, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, 140051, ул. Лорха, д. 23; Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, г. Москва, 127550, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: polivanovaoks@gmail.com

Митюшкин Алексей Владимирович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник-заведующий лабораторией селекции сортов для переработки, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Российская Федерация, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, 140051, ул. Лорха, д. 23; e-mail: zakazvniikh@mail.ru

Симаков Евгений Алексеевич — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник-заведующий отделом экспериментального генофонда картофеля, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Российская Федерация, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, 140051, ул. Лорха, д. 23; e-mail: vniikh@mail.ru

About authors:

Gins Ekaterina Muratovna — PhD student, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Junior Researcher, Russian Potato Research Center, 23 Lorkha st., Kraskovo vil., Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation; e-mail: katya.888888@yandex.ru

Moskalev Evgeny Aleksandrovich — PhD student, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Junior Researcher, Russian Potato Research Center, 23 Lorkha st., Kraskovo vil., Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation; e-mail: kml-gwork@mail.ru

Polivanova Oksana Borisovna — Candidate of Biological Sciences, Research Associate, Russian Potato Research Center, 23 Lorkha st., Kraskovo vil., Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation; Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: polivanovaoks@gmail.com

Mityushkin Aleksey Vladimirovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Laboratory for Breeding Varieties for Processing, Russian Potato Research Center, 23 Lorkha st., Kraskovo vil., Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation; e-mail: zakazvniikh@mail.ru

Simakov Evgeny Alekseevich — Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Head of the Department of Experimental Potato Gene Pool, Russian Potato Research Center, 23, Lorkha st., Kraskovo vil., Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation; e-mail: vniikh@mail.ru

Растениеводство Crop production

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-253-262
УДК 635.132

Научная статья / Research article

Агроэкологическое изучение сортообразцов столовой моркови из коллекции ВИР

Н.А. Зайцева^{1*}, А.Ф. Туманян², А.П. Селиверстова¹

¹Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН,
Астраханская обл., с. Соленое Займище, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

*gexham@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрено влияние агроэкологических условий на урожайность и адаптивность сортообразцов столовой моркови в почвенно-климатических условиях аридной зоны Прикаспия. Агроэкологические условия Астраханской области позволяют возделывать в открытом грунте морковь столовую. Регион пока не отличается высокими производственными показателями посевов моркови, возделывание которой здесь возможно только при орошении. Опыты по изучению коллекции моркови столовой закладывались в течение 2017—2019 гг. на полях Прикаспийского аграрного федерального научного центра РАН. Цель исследования — изучение 17 сортообразцов моркови столовой из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) для выделения высокопродуктивных и более адаптированных образцов. В результате трехлетних исследований по главному показателю — урожайности выделены сортообразцы Berlanda F1 (Нидерланды), Nantese (Италия) и Imperator Туре 9–11 (США) с урожайностью от 68,4 до 75,2 т/га. Коэффициент адаптивности был выше 1 у сортообразцов Berlanda F1 (Нидерланды), Nantese (Италия), F1 Eagle (Канада), Imperator Туре 9–11 (США), Wav-88 (Германия), Суражевская-1 (Россия), что говорит об их способности приспосабливаться к сложным условиям произрастания и давать стабильно высокие урожаи. Выделившиеся образцы могут быть использованы при создании новых сортов и гибридов для почвенно-климатических условий Прикаспия.

Ключевые слова: столовая морковь, сорт, гибрид, адаптированные сортообразцы, урожайность, Прикаспийская низменность, Астраханская область

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 15 апреля 2020 г. Принята к публикации: 16 июня 2020 г.

© Зайцева Н.А., Туманян А.Ф., Селиверстова А.П., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Для цитирования:

Зайцева Н.А., Туманян А.Ф., Селиверстова А.П. Агроэкологическое изучение сортообразцов столовой моркови из коллекции ВИР // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 253—262. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-253-262

Agroecological study of garden carrot cultivars from collection of Vavilov institute

Nadezhda A. Zaytseva^{1*}, Antonina F. Tumanyan², Anastasiya P. Seliverstova¹

¹Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Astrakhan region, Russian Federation

²Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: rexham@rambler.ru

Abstract. Carrots are one of the most important root crops in the world. Due to such qualities as plasticity and relative non-wholesome cultivation, carrots are cultivated in most countries of the world. Carrot roots are a valuable source of vitamins A, B, B2, B6, B12, C, RR, E, R. Agroecological conditions of the region allow to cultivate carrots in the open ground. Astrakhan region is not yet characterized by high production rates, as its cultivation can be done only under irrigation. The article considers the influence of agroecological conditions on crop yield and adaptability of garden carrots cultivars in the arid zone of the Caspian region. Experiments on studying the carrots cultivars was carried out on the fields of Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the RAS in 2017—2019. The purpose of the research was to study garden carrots cultivars from collection of plant genetic resources of Vavilov Institute for the selection of high-productive and more adapted samples. The object of research was 17 types of carrots from the world Vavilov collection. Based on three-year studies on yield, we can distinguish the following cultivars: Berlanda F1 (Netherlands), Nantese (Italy) and Imperator Type 9–11 (USA) with yield of 68.4 to 75.2 t/ha. The coefficient adaptability was higher than 1, in the varieties Berlanda F1 (Netherlands), Nantese (Italy), F1 Eagle (Canada), Imperator Type 9–11 (USA), Wav-88 (Germany), Surazhevskaya-1 (Russia). They have ability to adapt to difficult growing conditions and produce consistently high yields. The samples selected can be used in the future to create new cultivars and hybrids for conditions of the Caspian region.

Keywords: table carrots, cultivar, hybrid, adaptation, yield, Caspian plain, Astrakhan region

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 15 April 2020. Accepted: 16 June 2020

For citation:

Zaytseva NA, Tumanyan AF, Seliverstova AP. Agroecological study of garden carrot cultivars from collection of Vavilov Institute. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3):253–262. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-253-262

Введение

Столовая морковь — одна из основных овощных культур в Российской Федерации. По своему пищевому значению морковь занимает первое место среди столовых корнеплодов. Благодаря таким качествам, как пластичность и относи-

тельная неприхотливость в выращивании, морковь возделывают в большинстве стран мира. В корнеплодах моркови содержится 5...30 мг% каротина, 11,5...17,3% сухих веществ, 5...9,5% сахаров, 5...10 мг% аскорбиновой кислоты, витамины группы В, кальций, калий, натрий, марганец, фосфор, железо, йод [1].

Важнейшим условием получения высоких и стабильных урожаев высококачественных корнеплодов является внедрение адаптированных к конкретным агроэкологическим условиям, обладающих болезнеустойчивостью и высокой лежкоспособностью новых сортов и гибридов овощных культур и внедрение их в широкое производство [2]. Сельскохозяйственное производство должно основываться на адаптивном размещении производственных посевов для получения высоких урожаев на основе использования набора сортов и гибридов, максимально адаптированных к возможным отклонениям погоды [3].

Стратегической задачей современного растениеводства является повышение адаптивного потенциала сортов и продуктивное использование данных знаний в производстве. Для решения этой задачи необходимо знать биологические особенности культуры, которые проявляются в определенных условиях произрастания.

В настоящее время существует множество сортов и селекционно-ценных линий моркови, которые различаются между собой урожайностью, устойчивостью к болезням и вредителям, отношением к почвенно-климатическим условиям, формой и длиной корнеплодов, сроками созревания. Но они на данный момент не оценены для различных условий, не определен их адаптационный потенциал. В связи с этим установление реакции растений на определенные условия выращивания и выявление наиболее адаптивных сортообразцов имеют важное значение при включении их в селекционные программы и внедрение в производство.

В зоне рискованного земледелия, к которой относится Астраханская область, из-за недостаточного увлажнения, повышенного засоления, часто повторяющихся засух, ограниченности орошаемых земель резко снижается урожайность сельскохозяйственных культур и объем производства продукции. В данных природно-климатических условиях размер и качество получаемого урожая напрямую зависит от точности поддержания влажности почвы. Самым эффективным способом полива является применение капельного орошения [4]. Поэтому для данной территории необходимо проводить подбор адаптированных, высокопродуктивных сортообразцов, в т. ч. и моркови столовой, отвечающих требованиям интенсивных технологий возделывания и создавать на их основе новые сорта и гибриды [5].

Цель исследования — изучение 17 сортообразцов моркови столовой из мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) для выделения высокопродуктивных и более адаптированных образцов.

Материал и методы исследования

В качестве материала исследования были использованы сортообразцы и линии моркови столовой из мировой коллекции ВИР. Всего изучались 17 сортообразцов из Франции, Германии, Великобритании, Канады, США, Бразилии, Японии, Италии, России, Нидерландов.

Изучение проводилось по общепринятым методикам [6—8]. Опыт закладывался методом рендомизированных делянок в четырехкратной повторности. Густота посева 1 млн. семян/га. Посев ленточный восьми строчный.

Адаптивность сортообразцов определялась по методике Л.А. Животкова, в основе которой лежит сравнение урожайности конкретного образца со средне-сортовой урожайностью всей коллекции [9, 10].

Астраханская область расположена в Прикаспийской низменности, которая представляет собой молодую аккумулятивную равнину со слабоволнистым равнинным рельефом. Почвообразующими породами являются в основном лёссовидные суглинки, перекрывающиеся морскими отложениями [11].

Светло-каштановые почвы преобладают в данной зоне. Эти почвы характеризуются бесструктурно-слоеватым осветленным гумусовым горизонтом малой мощности (не более 15 см). На данном типе почв содержание гумуса не превышает 1,0...2,2%. В верхних горизонтах преобладает слабощелочная реакция, в нижних — щелочная. На 100 г почвы емкость поглощения составляет от 15 до 25 мг экв., из них 3...15% приходится на натрий. На светло-каштановых почвах преобладают признаки солонцеватости из-за более высокого залегания солей. Тип засоления преимущественно хлоридный.

Пахотный горизонт имеет плотность 1,25...1,35 т/м³, но водопроницаемость низкая – 0,30...0,40 мм/мин. Грунтовые воды залегают на 15...20 м. Почва в весенний период при наличии осадков может промачиваться от 0,30 до 1,0 м.

Участок, на котором закладывались опыты, согласно агрохимическому обследованию, представлен светло-каштановыми, солонцеватыми почвами, без наличия солонцов. Пахотный слой тяжелосуглинистый иллювиальный с солонцеватым сильно уплотненным горизонтом, из-за которого в нижние слои доступ воды и корней растений затруднен. Карбонатный горизонт В₂ в профиле почвы близко расположен и ярко выражен.

По механическому составу почвы опытного участка крупнопылеватые, с частицами диаметром менее 0,001 мм на горизонтах 0,2...0,65 м и с содержанием глины до 26,4%.

Тип климата данной зоны сильно континентальный. Для него характерны короткие малоснежные холодные зимы с сильными ветрами, осень и весна короткие и сухие, лето продолжительное сухое и жаркое. Коэффициент увлажнения не превышает 0,12...0,33. Осадков выпадает очень мало, от 100 до 300 мм, а испаряемость высокая — 700...900 мм [11].

Среднегодовая температура воздуха +7,0 °С. Порядка 235...260 суток в году с температурой воздуха выше 0 °С. В год сумма активных температур составляет 3370...3500 °С [10, 12].

Гидротермический коэффициент данной территории составляет 0,4...0,5, что характеризует ее как засушливую по условиям тепло- и влагообеспеченности.

Орошение опытов осуществлялось с помощью капельного орошения.

Результаты исследования и обсуждение

Погодные условия в период вегетации моркови столовой оценивались по данным метеостанции с. Черный Яр (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические условия вегетационного периода моркови

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С			Температура почвы на глубине 5...15 см, °С			Осадки, мм		
		2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Апрель	III	10,6	12,5	13,7	11,3...11,0	13,2...12,2	16,1...14,5	21,3	10,5	0,5
Май	I	17,9	20,0	16,8	18,9...17,6	20,3...18,7	17,1...15,6	5,0	–	4,8
	II	14,6	20,7	23,3	16,9...16,6	22,6...23,2	23,1...21,3	57,8	–	1,7
	III	17,3	20,6	21,4	19,9...18,7	24,4...23,4	23,9...22,4	3,0	–	4,8
Июнь	I	19,0	18,6	26,4	23,3...22,4	28,5...22,2	28,6...26,9	–	11,9	0,5
	II	21,0	22,8	36,1	22,2...21,5	26,3...25,1	29,8...27,8	23,0	–	2,5
	III	24,3	29,1	28,0	26,6...25,3	31,1...29,7	31,8...29,3	3,5	–	1,9
Июль	I	25,3	26,9	25,0	29,7...28,6	28,4...28,3	28,9...27,3	0,6	23,7	5,4
	II	26,4	27,0	22,2	30,2...28,4	29,3...28,8	24,0...24,2	–	10,6	43,3
	III	27,4	27,0	27,4	30,9...29,4	28,6...28,0	26,7...26,1	11,1	6,0	9,3
Август	I	29,0	25,8	21,0	32,6...30,8	28,7...28,4	24,0...23,7	–	1,1	7,0
	II	26,1	23,3	–	30,5...29,3	27,0...26,7	–	–	3,3	–
	III	24,7	22,8	–	28,1...27,4	26,0...25,6	–	10,3	–	–
Сентябрь	I	20,5	22,0	–	22,4...23,2	24,3...24,3	–	18,3	–	–
	II	23,0	19,9	–	23,4...23,5	21,3...21,7	–	–	8,8	–
	III	13,5	–	–	16,8...19,2	–	–	–	–	–

Table 1

Meteorological conditions for carrot growing season

Month	Decade	Air temperature, °C			Soil temperature at a depth of 5...15 cm, °C			Precipitation, mm		
		2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
April	III	10.6	12.5	13.7	11.3...11.0	13.2...12.2	16.1...14.5	21.3	10.5	0.5
May	I	17.9	20.0	16.8	18.9...17.6	20.3...18.7	17.1...15.6	5.0	–	4.8
	II	14.6	20.7	23.3	16.9...16.6	22.6...23.2	23.1...21.3	57.8	–	1.7
	III	17.3	20.6	21.4	19.9...18.7	24.4...23.4	23.9...22.4	3.0	–	4.8
June	I	19.0	18.6	26.4	23.3...22.4	28.5...22.2	28.6...26.9	–	11.9	0.5
	II	21.0	22.8	36.1	22.2...21.5	26.3...25.1	29.8...27.8	23.0	–	2.5
	III	24.3	29.1	28.0	26.6...25.3	31.1...29.7	31.8...29.3	3.5	–	1.9

End of Table 1

Month	Decade	Air temperature, °C			Soil temperature at a depth of 5...15 cm, °C			Precipitation, mm		
		2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
July	I	25.3	26.9	25.0	29.7...28.6	28.4...28.3	28.9...27.3	0.6	23.7	5.4
	II	26.4	27.0	22.2	30.2...28.4	29.3...28.8	24.0...24.2	–	10.6	43.3
	III	27.4	27.0	27.4	30.9...29.4	28.6...28.0	26.7...26.1	11.1	6.0	9.3
August	I	29.0	25.8	21.0	32.6...30.8	28.7...28.4	24.0...23.7	–	1.1	7.0
	II	26.1	23.3	–	30.5...29.3	27.0...26.7	–	–	3.3	–
	III	24.7	22.8	–	28.1...27.4	26.0...25.6	–	10.3	–	–
September	I	20.5	22.0	–	22.4...23.2	24.3...24.3	–	18.3	–	–
	II	23.0	19.9	–	23.4...23.5	21.3...21.7	–	–	8.8	–
	III	13.5	–	–	16.8...19.2	–	–	–	–	–

Погодные условия вегетационного периода 2017 г. складывались благоприятно для развития растений моркови. Посев столовой моркови проводили после подготовки почвы 28 апреля, когда средние температуры почвы и воздуха были выше +10 °C. Третья декада апреля и май отличались постепенным нарастанием температуры воздуха и почвы на глубине 5...15 см, осадков в мае выпало много — 65,8 мм, влажность воздуха была на уровне 44...66% (см. табл. 1). В июне также отмечалось выпадение осадков 23,0 мм, что способствовало понижению температуры воздуха до 19,0...24,3 °C. Июнь и август были жаркими и сухими, температуры почвы достигали в эти месяцы 29,7...30,9 °C. В сентябре температуры воздуха и почвы были на уровне 20,5...23,4 °C, осадков в период уборки 26 сентября не было.

Вегетационный период 2018 г. отличался неравномерностью осадков, низкими значениями относительной влажности воздуха (29...49%). Температуры воздуха весной быстро нарастали, посев осуществляли 3 мая, при оптимальных температурах воздуха и почвы. Температуры воздуха и почвы в мае, июне и июле были выше, чем в 2017 г. (см. табл. 1), что отразилось на продолжительности вегетационного периода. Уборку столовой моркови проводили в фазе биологической спелости 14 сентября.

В 2019 г. посев проводили рано, 23 апреля, так как в этот период температура воздуха были на уровне 13,7 °C, а температура почвы на глубине 5...15 см 16,1...14,5 °C. Осадки наблюдались на протяжении всего вегетационного периода. Влажность воздуха составляла 29...64%. Вегетационный период изучаемых сортообразцов был короче, поэтому уборку проводили 2 августа.

В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения.

В результате изучения коллекции столовой моркови среди сортообразцов самый высокий показатель урожайности в 2017 г. получен у F1 Eagle (Канада) — 57,2 т/га, наименьшая урожайность составила 21,5 т/г у сортообразца J-Shinkokybu (Япония). У остальных сортообразцов урожайность варьировала от 31,0 до 54,2 т/га (табл. 2).

Таблица 2

Продуктивность и адаптивность сортообразцов столовой моркови

Сортообразцы		Урожайность, т/га				Коэффициент адаптивности
№ по каталогу ВИР	Название	2017	2018	2019	Среднее	
2616	Amtou (Германия)	47,2	82,5	32,3	54,0	0,96
2712	Asmer Super Sprite (Великобритания)	37,3	56,8	8,8	34,3	0,61
2834	Wav-88 (Германия)	42,9	120,7	31	64,9	1,15
2846	F17302 (Франция)	49,4	60	51,7	53,7	0,95
2852	F1Woodland (США)	40	74,8	41	51,9	0,92
2856	Brasilia (Бразилия)	36,1	48,4	63,1	49,2	0,87
2876	J-Shinkokuby (Япония)	21,5	81,3	45,9	49,6	0,88
2877	Тайфун (Россия)	47,3	69	36,8	51,0	0,91
2892	Суражевская-1 (Россия)	36	115,3	35,2	62,2	1,10
2904	Carioca (Нидерланды)	31	68,5	66,6	55,4	0,98
2910	Imperator Type 9–11 (США)	36,8	97,2	71,2	68,4	1,21
2912	Autumn Kind (Великобритания)	35,2	93,4	28,2	52,3	0,93
2914	F1 Eagle (Канада)	57,2	102,6	29,7	63,2	1,12
2922	Tokitak Scarlet (Япония)	54,2	50,6	39,9	48,2	0,86
2932	Race Dalbon (Франция)	41,9	75,2	33,4	50,2	0,89
2934	Nantese (Италия)	40,2	106,7	73,5	73,5	1,30
2943	Berlanda F1 (Нидерланды)	39,9	133,5	52,3	75,2	1,34

Table 2

Productivity and adaptability of table carrot cultivars

Cultivar		Yield, t/ha				Adaptability coefficient
№ in Vavilov collection	Name	2017	2018	2019	Average	
2616	Amtou (Germany)	47.2	82.5	32.3	54.0	0.96
2712	Asmer Super Sprite (Great Britain)	37.3	56.8	8.8	34.3	0.61
2834	Wav-88 (Germany)	42.9	120.7	31	64.9	1.15
2846	F17302 (France)	49.4	60	51.7	53.7	0.95
2852	F1Woodland (USA)	40	74.8	41	51.9	0.92
2856	Brasilia (Brasil)	36.1	48.4	63.1	49.2	0.87

Cultivar		Yield, t/ha				Adaptability coefficient
№ in Vavilov collection	Name	2017	2018	2019	Average	
2876	J-Shinkokyby (Japan)	21.5	81.3	45.9	49.6	0.88
2877	Tayfun (Russia)	47.3	69	36.8	51.0	0.91
2892	Surazhevskaya-1 (Russia)	36	115.3	35.2	62.2	1.10
2904	Carioca (Netherlands)	31	68.5	66.6	55.4	0.98
2910	Imperator Type 9–11 (USA)	36.8	97.2	71.2	68.4	1.21
2912	Autumn Kind (Great Britain)	35.2	93.4	28.2	52.3	0.93
2914	F1 Eagle (Canada)	57.2	102.6	29.7	63.2	1.12
2922	Tokitak Scarlet (Japan)	54.2	50.6	39.9	48.2	0.86
2932	Race Dalbon (France)	41.9	75.2	33.4	50.2	0.89
2934	Nantese (Italy)	40.2	106.7	73.5	73.5	1.30
2943	Berlanda F1 (Netherlands)	39.9	133.5	52.3	75.2	1.34

В условиях 2018 г. урожайность была максимальной у сортообразца Berlanda F1 (Нидерланды) — 133,5 т/га. Наименьшая урожайность отмечена у сортообразца Brasilia (Бразилия) — 48,4 т/га. У остальных сортообразцов она составила 50,6...120,7 т/га.

В 2019 г. урожайность варьировала от 8,8 до 73,5 т/га, максимальное значение отмечено у сортообразца Nantese (Италия), минимальное значение показал сортообразец Asmer Super Sprite (Великобритания).

В среднем за годы исследования максимальная урожайность отмечена у сортообразца Berlanda F1 (Нидерланды) — 75,2 т/га, незначительно ниже у сортообразца Nantese (Италия) — 73,5 т/га. Минимальная урожайность отмечена у сортообразца Asmer Super Sprite (Великобритания) — 34,3 т/га.

Высокой адаптивностью (с коэффициентом выше 1) обладали сортообразцы столовой моркови с урожайностью свыше 62,2 до 75,2 т/га. Это Berlanda F1 (Нидерланды) с коэффициентом адаптивности — 1,34, Nantese (Италия) — 1,30, Imperator Type 9—11 (США) — 1,21, Wav-88 (Германия) — 1,15, Суражевская-1 (Россия) — 1,10.

Менее адаптированными к аридным условиям оказались сортообразцы столовой моркови Carioca (Нидерланды) — 0,98, Amtou (Германия) — 0,96, F17302 (Франция) — 0,95, Autumn Kind (Великобритания) — 0,93, F1Woodland (США) — 0,92, Тайфун (Россия) — 0,91.

Выводы

Проведенное агроэкологическое изучение коллекции моркови показало, что наиболее продуктивными и адаптированными к почвенно-климатическим условиям Астраханской области являются сортообразцы *Berlanda F1* из Нидерланд, *Nantese* из Италии и *Imperator Туре 9—11* из США, *Wav-88* из Германии, *Суражевская-1* из России, которые могут быть использованы в дальнейшей селекции при создании новых высокопродуктивных сортов и гибридов.

Библиографический список

1. *Stolarczyk J., Janick J. Carrot: History and Iconography // Chronica horticulturae*. 2011. V. 51. № 2. Pp. 13—18.
2. Жученко А.А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы): в 2 т. М.: РУДН, 2001.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Изд. 5-е. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1989. Вып. 2. 195 с.
5. Ушаков Н.М., Шучкина В.П., Тимофеева Е.Г., Пилипенко В.Н. и др. Природа и история Астраханского края. Астрахань: Изд-во АГУ, 1996. 256 с.
6. Зволинский В.П., Тютюма Н.В., Таранова Е.С. Производство овощебахчевых культур в условиях Астраханской области. Волгоград: ВГСХА, 2011. 292 с.
7. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. М.: КолоС, 2010. С. 412—418.
8. Народецкая Ш.Ш., Глухова А.И., Брекалова А.И. Агроклиматические ресурсы Астраханской области. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 136 с.
9. Туманян А.Ф., Тусаинт Фелисия, Тютюма Н.В., Бондаренко А.Н. Возделывание столовой моркови по ресурсосберегающей технологии в условиях орошения Астраханской области // Теоретические и прикладные проблемы АПК. 2016. № 4(29). С. 35—42.
10. Животков Л.А., Морозова З.Н., Секатуева Л.И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайности» // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3—6.
11. Методические указания по изучению мировой коллекции ВИР. Л., 1985.
12. Гиш Р.А., Гикало Г.С. Овощеводство юга России. Краснодар: ЭДВИ, 2012. 632 с.

References

1. Stolarczyk J, Janick J. Carrot: History and Iconography. *Chronica horticulturae*. 2011; 51(2):13—18.
2. Zhuchenko AA. *Adaptivnaya sistema selekcii rastenij (ekologo-geneticheskie osnovy)* [Adaptive plant breeding system (ecological and genetic bases)]. Moscow: RUDN University Publ.; 2001. (In Russ).
3. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta* [Methodology of field experience]. 5th ed. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1985. (In Russ).
4. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur* [Methodology of state variety testing of agricultural crops]. Issue 2. Moscow: Kolos Publ.; 1989. (In Russ).
5. Ushakov NM, Shuchkina VP, Timofeeva EG, Pilipenko VN. *Priroda i istoriya Astrakhanskogo kraja* [Nature and history of the Astrakhan region]. Astrakhan: AGU Publ.; 1996. (In Russ).
6. Zvolinskij VP, Tyutyuma NV, Taranova ES. *Proizvodstvo ovoshchebahchevyh kul'tur v usloviyah Astrahanskoj oblasti* [Production of vegetable and berry crops in the Astrakhan region]. Volgograd: VGSKHA Publ.; 2011. (In Russ).
7. Kiryushin VI. *Agronomicheskoe pochvovedenie* [Agronomic soil science]. Moscow: Kolos Publ.; 2010. (In Russ).
8. Narodetskaya SS, Glukhova AI, Brekalova AI. *Agroklimaticheskie resursy Astrahanskoj oblasti* [Agroclimatic resources of the Astrakhan region]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1974. (In Russ).

9. Tumanyan AF, Felisia T, Tyutyuma NV, Bondarenko AN. Cultivation of garden carrots using resource-saving technology under irrigation in the Astrakhan region. *Theoretical and Applied Problems of Agro-industry*. 2016; (4):35–42. (In Russ).

10. Zhivotkov LA, Morozova ZN, Sekatueva LI. Method of identifying potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat by «yield» indicator. *Seleksiya i semenovodstvo*. 1994; (2):3–6. (In Russ).

11. *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu mirovoj kollekcii VIR* [Methodological guidelines for the study of the world Vavilov collection]. Leningrad: Vavilov Institute Publ.; 1985. (In Russ).

12. Gish RA, Gikalo GS. *Ovoshchevodstvo yuga Rossii* [Vegetable growing in the South of Russia]. Krasnodar: EDVI Publ.; 2012. (In Russ).

Об авторах:

Зайцева Надежда Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией селекции, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, Российская Федерация, 416251, Астраханская обл., Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: rexham@rambler.ru

Туманян Антонина Федоровна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: aftum@mail.ru

Селиверстова Анастасия Павловна — младший научный сотрудник лаборатории селекции, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, Российская Федерация, 416251, Астраханская обл., Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: rexham@rambler.ru

About authors:

Zaitseva Nadezhda Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Breeding Laboratory, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny kvartal st., Solenoe Zaymishche village, Chernoyarsky District, Astrakhan Region, 416251, Russian Federation; e-mail: rexham@rambler.ru

Tumanyan Antonina Fedorovna — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Agrobiotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: aftum@mail.ru

Seliverstova Anastasiya Pavlovna — Junior Researcher, Breeding Laboratory, Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny kvartal st., Solenoe Zaymishche village, Chernoyarsky District, Astrakhan Region, 416251, Russian Federation; e-mail: rexham@rambler.ru

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-263-271
УДК 633.13:631.559

Научная статья / Research article

Реакция абиотических условий на формирование урожайности зерна овса ярового в условиях Северного региона РФ

И.В. Зобнина*, В.А. Корелина, О.Б. Батакова

Приморский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Российской академии наук — «Архангельский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»,
Архангельская обл., Российская Федерация
*19651960@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты полевых экспериментов на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, типичной для Северного региона РФ, проведенных в 2012—2019 гг. с целью выявления зависимости урожайности зерна сортов овса ярового от абиотических условий. В годы исследований погодные условия значительно различались, что соответственно отразилось на продуктивности зерна овса. Установлено, что урожайность зерна овса ярового имеет очень слабую корреляционную связь с суммой эффективных температур, слабую — с суммой осадков и отрицательную — со средней температурой воздуха, что свидетельствует о возможности ведения семеноводства этой культуры в условиях исследуемой зоны. По полученным данным урожайность зерна значительно варьировалась по годам. Причины снижения продуктивности зерна в отдельные годы различались и носили комплексный характер. Выделены наиболее пластичные сортообразцы по урожайности зерна.

Ключевые слова: овёс яровой, урожайность зерна, сорта, гидротермический коэффициент, температура, осадки, корреляция

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 8 июля 2020 г. Принята к публикации: 6 сентября 2020 г.

Для цитирования: Зобнина И.В., Корелина В.А., Батакова О.Б. Реакция абиотических условий на формирование урожайности зерна овса ярового в условиях Северного региона РФ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 263—271. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-263-271

© Зобнина И.В., Корелина В.А., Батакова О.Б., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Influence of abiotic factors on spring oat yields in the Northern region of Russian Federation

Irina V. Zobnina*, Valentina A. Korelina, Olga B. Batakova

Branch of Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences —
Arkhangelsk Research Institute of Agriculture,
Arkhangelsk region, Russian Federation

*Corresponding author: 19651960@mail.ru

Abstract. Field experiments were carried out on sod-podzolic medium loamy soil, typical for the Northern region of the Russian Federation, in 2012—2019. The dependence of spring oat yields on abiotic conditions was studied. During the research years, the weather conditions varied significantly, which affected the productivity of spring oat. The yield of spring oat grain was found to have a very weak correlation with the effective temperature sum, weak correlation — with the total precipitation, and negative correlation — with the mean air temperature, which indicates the possibility of seed production of this crop in the Northern region of the Russian Federation. According to the data obtained, grain yields varied significantly from year to year. The reasons for the decline in grain productivity in individual years were different and complex. The most plastic cultivars with high productivity were identified.

Keywords: spring oats, grain yield, cultivars, hydrothermal coefficient, temperature, precipitation, correlation

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Article history:

Received: 8 July 2020. Accepted: 6 September 2020

For citation:

Zobnina IV, Korelina VA, Batakova OB. Influence of abiotic factors on spring oat yields in the Northern region of Russia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3):263—71. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-263-271

Введение

Для условий южной части Северного региона России наиболее перспективной зерновой культурой является овёс яровой. Использование овса в качестве компонента в однолетних травосмесях обусловило широкое его распространение в зоне. Одна из основных задач селекции овса в условиях Северного региона — создание адаптивных сортов, обладающих высоким потенциалом продуктивности зерна и зеленой массы, достаточно скороспелых, устойчивых к полеганию, осыпанию и болезням. В своей работе ряд исследователей отмечают «овёс — растение умеренного климата. Семена прорастают при низких температурах, хорошо переносят весенние заморозки (до минус 5 °С). Летнюю засуху овёс переносит плохо, особенно в период от начала выхода растений в трубку до выметывания. Овёс хорошо переносит переувлажнение почвы, однако во время налива зерна избыточное увлажнение вызывает образование подгона и затягивает вегетацию» [1]. О влиянии погодных условий упоминали в своих научных работах многие исследователи:

«...важно, чтобы создаваемые сорта обладали устойчивостью к действию абиотических и биотических стрессов. Одним из факторов, воздействующих на рост и развитие овса, являются погодные условия» [2—4]. В разных климатических зонах лимитирующие факторы могут быть различны. Ряд авторов отмечают, что продуктивность сельскохозяйственных культур во многом определяется складывающимся гидротермическим режимом в период вегетации. На нее сильное влияние оказывают многие абиотические факторы среды — резкое колебание температур в течение суток, повышенные температуры, недостаточное или избыточное количество осадков, продолжительные и повторяющиеся засухи, осадки в виде ливней и многое другое [5, 6]. В то же время при создании новых сортов приходится решать еще и проблему сочетания потенциальной урожайности с экологической приспособленностью [7]. В целях уменьшения экологической зависимости сортов особый приоритет должна получить целенаправленная селекция на адаптивность к конкретным и прежде всего экстремальным погодным условиям [8, 9].

Биоклиматические условия Северного региона позволяют успешно заниматься возделыванием овса ярового как на зеленую массу, так и на получение полноценного зерна. Урожайность зерна в сельхозпредприятиях, расположенных в южных районах Архангельской области, за последние пять лет колебалась в пределах 2,4...3,2 т/га.

Сумма активных температур в южной части Северного региона составляет 1700...1850 °С, годовое количество осадков 470...620 мм, средняя продолжительность безморозного периода 127 дней. За период активной вегетации растений (температура выше 10 °С) выпадает до 300 мм осадков. Минимальное количество осадков приходится на зимние месяцы и начало весны, максимальное — на июль-сентябрь [10].

Цель исследований — изучить влияние абиотических факторов среды на продуктивность зерна овса ярового в условиях Северного региона РФ и выделить перспективные образцы по данному признаку.

Материалы и методы исследований

Полевые и лабораторные исследования проводились в питомниках конкурсного сортоиспытания овса ярового в 2012—2019 гг. в лаборатории растениеводства Архангельского НИИСХ, на одном и том же опытном участке. Почву данного участка можно отнести к высококультуренной, дерново-подзолистой. Отбор почвенных образцов проводился по ГОСТ 28168—89. По механическому составу почва среднесуглинистая, глееватая, с повышенным содержанием гумуса (3,7%), реакция почвенного раствора нейтральная (рН — 6,5). Почва насыщена фосфором 23,5 мг/г, калием 27,8 мг/г на 100 г почвы (по Кирсанову), общего азота — 0,11%. Мощность пахотного горизонта — 20...22 см. Площадь делянки — 10 м², повторность — четырехкратная. В исследованиях представлены перспективные сортообразцы, изучаемые в конкурсном сортоиспытании и выделяющиеся по продуктивности зерна. В качестве стандарта использовался районированный для Архангельской области сорт ярового овса — Кречет. Агротехника — общепринятая в данной зоне с минимальными затратами материально-технических средств.

При проведении наблюдений, оценок и учетов использовали методики: «Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса» (Санкт-Петербург, 2012), «Международный классификатор СЭВ» (Ленинград, 1984), «Методика Госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур» (М., 1985).

За вегетационный период проведены фенологические и сопутствующие наблюдения, оценка растений на поражаемость болезнями, повреждение вредителями, учеты зеленой массы, урожайности семян. Использовали оборудование: сеялки СКС-6—10, рыхлитель РФ-1, Сампо-130. Послеуборочную подработку проводили на аспирационной колонке АК-1.

Исследования проводили с резко контрастными метеорологическими условиями, которые по-разному влияли на рост, развитие и продуктивность изучаемых сортов.

Математическую обработку экспериментальных данных проводили статистическими методами по Б.А. Доспехову с использованием программы Microsoft Office Excel 2007, пакета компьютерных программ AGROS v. 2.07 и программы TATGRAPHICS for Windows v. 5.1.

Результаты исследований и обсуждения

Сравнительная характеристика урожайности зерна сортов овса ярового в конкурсном сортоиспытании (рис. 1) показала, что продуктивность данной культуры в значительной степени подвержена влиянию агрометеорологических условий.



Рис. 1. Конкурсное сортоиспытание, 2019 г.

Fig. 1. Competitive cultivar testing, 2019

Метеорологические условия в период проведения исследований были резко контрастными. Сумма эффективных температур варьировала от 1158 °С в 2017, 2019 гг. до 1631 °С в 2016 г., средняя температура в вегетационный период при этом изменялась от 11,72 °С в 2014 г. до 15,26 °С в 2016 г. Количество выпавших осадков по годам изменялось от 121 мм в 2013 г., до 371 мм в 2019 г. В 2013, 2016, 2018 гг. осадков выпало меньше нормы (норма 297, 253 и 239 мм), по остальным годам больше нормы, и в определенные периоды вегетации наблюдалось переувлажнение почвы.

Периоды вегетации 2012—2016 гг. и 2018 г. были относительно благоприятны для роста и развития овса ярового (табл. 1). Сумма эффективных температур в эти годы была выше среднемноголетних значений на 300...564 °С (среднемноголетние — 1067 °С). Сумма выпавших осадков за вышеперечисленные периоды составила 66...174% от нормы (норма 183 мм). Периоды вегетации 2017, 2019 гг. по тепло обеспеченности уступали вышеперечисленным годам. Сумма эффективных температур за периоды исследований была выше среднемноголетних значений на 91 °С, количество выпавших осадков от нормы составило 130% в 2017 г. и 203% в 2019 г. В первую и вторую декаду июня и первую декаду июля 2018 г. выпали обильные осадки с существенным недостатком тепла, суточная температура составляла от –2 до +20 °С. В результате неблагоприятных погодных условий, сложившихся в первую и вторую декаду июня 2018 г., произошло значительное ухудшение роста и развития овса ярового, что оказало влияние на продуктивность и продолжительность периода вегетации.

Таблица 1

Метеоусловия за периоды исследований с 2012 по 2019 гг.

Показатели	Годы							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Сумма эффективных температур, °С	1375	1468	1367	1429	1631	1158	1415	1158
Дата перехода среднесуточной температуры воздуха через 10 °С	11.05	11.05	10.05	11.05	15.05	8.06	16.05	6.05
Средняя температура воздуха в вегетационный период, °С	13,58	14,5	11,72	14,18	15,26	12,42	14,02	13,2
Сумма осадков за вегетационный период, мм	318	121	224	195	180	237	179	371

Table 1

Weather conditions for research periods, 2012–2019

Indicator	Year							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Effective temperature sum, °С	1375	1468	1367	1429	1631	1158	1415	1158
Date of transition to mean daily air temperature above 10 °С	11.05	11.05	10.05	11.05	15.05	8.06	16.05	6.05
Mean air temperature during vegetative periods, °С	13.58	14.5	11.72	14.18	15.26	12.42	14.02	13.2
Total precipitation during vegetative periods, mm	318	121	224	195	180	237	179	371

Для оценки условий увлажнения вегетационных периодов применяли гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова (рис. 2). Суммарное значение ГТК было наименьшим в 2013 г. и равнялось — 0,9, что указывает на недостаточную влагообеспеченность с/х культур. В 2015, 2016 и 2018 гг. коэффициент равен — 1,4, что указывает на умеренно влажные годы. Годы со значением коэффициентов выше 1,6 соответствуют повышенному и высокому значению ГТК.



Рис. 2. Значения гидротермического коэффициента в 2012–2019 гг.

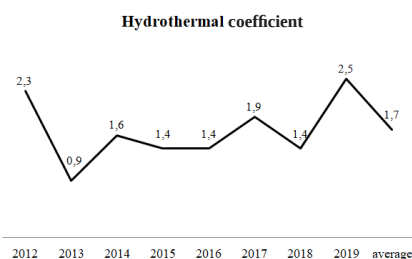


Fig. 2. Hydrothermal coefficient, 2012–2019

Урожайность образцов овса за годы исследований изменялась в сильной степени и была значительно ниже потенциально возможной (табл. 2). Основной причиной являлись резкие изменяющиеся погодные условия. В табл. 2 приведены перспективные образцы, выделившиеся по продуктивности за годы исследований. Наиболее благоприятными для формирования урожая зерна овса ярового сложились условия 2012, 2014 и 2015 гг., в результате средняя урожайность за эти три года составила 6,6; 4,5 и 5,7 т/га соответственно. Несколько менее урожайными были 2016 и 2017 гг. с урожайностью зерна 4,0 и 4,3 т/га. Низкая урожайность овса получена в 2013, 2018 и 2019 гг. — 3,5; 3,0 и 3,7 т/га соответственно. Самым неблагоприятным по агрометеоусловиям был вегетационный период 2018 г., когда средняя урожайность по изученным перспективным сортам составила 3,0 т/га.

Таблица 2

Продуктивность овса ярового в конкурсном сортоиспытании в 2012–2019 гг., т/га

Образец	Годы							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Кречет, стандарт	7,3	2,0	3,7	5,3	3,1	4,0	2,4	3,7
10Н 2401	—	4,8	5,1	5,6	4,4	—	—	—
127 h 06	6,5	3,1	4,5	5,6	3,7	—	—	—
55h2191	6,3	3,6	5,2	6,7	—	—	—	—
И-2950	6,1	3,5	4,5	5,6	4,9	3,9	—	—
И-3911	—	3,6	4,5	—	—	—	—	—
289 h 06	6,2	4,0	4,1	5,5	—	—	—	—
И-2961	7,2	3,5	4,6	6,0	3,9	—	—	—
Н2555	—	—	—	5,6	3,9	4,3	3,2	3,3
Н2502	—	—	—	—	4,0	4,8	3,3	4,1
В среднем по годам	6,6	3,5	4,5	5,7	4,0	4,3	3,0	3,7

Spring oat yields in competitive cultivar testing, t/ha

Cultivar	Year							
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Krechet (control)	7.3	2.0	3.7	5.3	3.1	4.0	2.4	3.7
10H 2401	–	4.8	5.1	5.6	4.4	–	–	–
127 h 06	6.5	3.1	4.5	5.6	3.7	–	–	–
55h2191	6.3	3.6	5.2	6.7	–	–	–	–
I-2950	6.1	3.5	4.5	5.6	4.9	3.9	–	–
I-3911	–	3.6	4.5	–	–	–	–	–
289 h 06	6.2	4.0	4.1	5.5	–	–	–	–
I-2961	7.2	3.5	4.6	6.0	3.9	–	–	–
H2555	–	–	–	5.6	3.9	4.3	3.2	3.3
H2502	–	–	–	–	4.0	4.8	3.3	4.1
Average	6.6	3.5	4.5	5.7	4.0	4.3	3.0	3.7

Самым высокопродуктивным по урожайности выделился 2012 г., который характеризовался высокими значениями суммы эффективных температур (выше нормы на 308 °С), количеством осадков за вегетационный период выше нормы на 135 мм и со значением ГТК — 2,3.

Наиболее высокие урожаи у перспективных образцов овса (4,5...6,6 т/га) получены в годы с гидротермическим коэффициентом за вегетационный период 1,4...2,3, а самые низкие (3,0; 3,5; 3,7 т/га) — в годы с ГТК 0,9; 1,4; 2,5. Из представленных в табл. 2 образцов наиболее пластичными показали себя в условиях Северного региона 10H2401, 289h06, И 2961.

В селекционной работе наибольшую практическую ценность представляют корреляционные взаимосвязи между признаками и внешними факторами. Результаты применения математико-статистических методов корреляционного анализа зависимости урожайности зерна овса ярового от погодных условий субарктической зоны показали как положительную, так и отрицательную корреляцию.

Продуктивность образцов овса ярового не коррелирует с суммой эффективных температур за вегетационный период без учета периода фенотаз ($r = +0,001$) и слабо положительно коррелирует с суммой осадков за вегетационный период ($r = + 0,35$). Это показывает, что изученные образцы овса не требовательны к высоким положительным температурам, но при этом требуют достаточного количества влаги, особенно в период от выхода растений в трубку до цветения. При недостаточном увлажнении происходит резкое снижение урожайности, так как в это время начинается развитие генеративных органов. Более поздние обильные осадки вызывают подгон и затягивают созревание, из-за чего зерно не всегда успевает вызревать до наступления морозов.

Заключение

Существенное влияние на формирование урожайности зерна овса ярового в условиях Северного региона РФ оказывают зональные и складывающиеся агрометеорологические условия вегетационного периода. На протяжении 8 лет исследовательской работы с различными погодными условиями средняя урожайность разных образцов овса ярового колебалась от 3,0 до 6,6 т/га. В результате анализа погодных условий в период вегетации во взаимоотношении с продуктивностью зерна выявлено, что для получения урожайности овса свыше 4,5 т/га необходимы: сумма эффективных температур выше 1350 °С, ГТК не менее 1,6.

Выделены наиболее пластичные и продуктивные сортообразцы овса ярового 10Н2401, 289h06, И 2961.

Библиографический список

1. Тоноян С.В., Киселёв Е.Ф., Афанасьева В.К., Зяблова М.Н., Богданов А.Ю., Бунеев М.П. Влияние климатических условий и предшественников на урожайность и качество овса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2012. № 4. С. 41–48.
2. Агроклиматические ресурсы Архангельской области. Л.: Гидрометеорологическое изд., 1971. 136 с.
3. Безгодов А.В., Ахметханов В.Ф. Адаптивная способность сортов овса и интенсификация технологии их выращивания в условиях Среднего Урала // Научные исследования: от теории к практике. 2016. № 4 (10). С. 200–210. doi: 10.21661/r-113661
4. Косяненко А.П. Роль влагообеспеченности в изменении хозяйственно-биологических признаков овса // Вестник Красноярского ГАУ. 2007. № 1. С. 117–121.
5. Васьюк И.А., Бакаев Н.М. Зависимость урожая яровой пшеницы от климатических факторов // Земледелие. 1988. № 5. С. 37–38.
6. Титаренко А.В., Коробова Н.А. Экологическое сортоиспытание гороха в условиях приазовской зоны Ростовской области // Аграрная наука. 2013. № 8. С. 14–15.
7. Алабушев А.В. Состояние и пути эффективной отрасли растениеводства. Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2012. 384 с.
8. Беспалова Л.А. Эколого-генетические особенности формирования адаптивного потенциала сортов озимой пшеницы нового поколения // Экологическая генетика культурных растений: мат. школы молодых ученых. Краснодар: Изд-во РАСХН, ВНИИ Риса, 2005. С. 35–38.
9. Ионова Е.В., Газе В.Л., Некрасов Е.И. Перспективы использования адаптивного районирования и адаптивной селекции сельскохозяйственных культур // Зерновое хозяйство России. 2013. № 3(27). С. 19–22.
10. Корелина В.А. Влияние абиотических факторов на семенную продуктивность клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) // Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 2. С. 40–47. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47

References

1. Tonoyan SV, Kiselev EF, Afanaseeva VK, Ziablova MN, Bogdanov AY, Buneev MP. Influence of climatic conditions and precursors on oat yield and quality. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2012; (4):41–48. (In Russ).
2. *Agroklimaticheskie resursy Arkhangel'skoi oblasti* [Agroclimatic resources of the Arkhangelsk region]. Leningrad: Hydrometeorological publ.; 1971. (In Russ).
3. Bezgodov AV, Akhmetkhanov VF. Adaptive capacity of oat varieties and intensification of their growing technology in the Middle Urals. In: *Scientific research: from theory to practice. Conference proceedings of X Int. scientific conference, 30 October 2016, Cheboksary, Russia*. Cheboksary: Interaktiv plyus publ.; 2016. p.200–210. (In Russ). doi: 10.21661/r-113661

4. Kosyanenko AP. The role of water availability in changing the economic and biological characteristics of oats. *Bulletin of KSAU*. 2007; (1):117–121. (In Russ).
5. Vasko IA, Bakaev NM. Dependence of spring wheat yield on climatic factors. *Zemledelie*. 1988; (5):37–38. (In Russ).
6. Titarenko AV, Korobova NA. Ecological testing of pea sorts in conditions of Rostov region. *Agrarian science*. 2013; (8):14–15. (In Russ).
7. Alabushev AV. *Sostoyanie i puti effektivnoi otrasli rastenievodstva* [State and ways of effective crop production]. Rostov-on-Don: Kniga publ., 2012. (In Russ).
8. Bespalova LA. Ecological and genetic features of adaptive potential formation of new-generation winter wheat varieties. In: *Ecological genetics of cultivated plants: Conference proceedings*. Krasnodar: RASKHN publ.; 2005. p.35–38. (In Russ).
9. Ionova EV, Gaze VL, Nekrasov EI. Perspective of use of adaptive zoning and adaptive selection of crops (review). *Grain Economy of Russia*. 2013; (3):19–22. (In Russ).
10. Korelina VA. Influence of abiotic factors on seed productivity of red clover (*Trifolium pratense* L.) in subarctic conditions of the Russian Federation. *Adaptive Fodder Production*. 2019; (2):40–47. (In Russ). doi: 10.33814/AFP-2222–5366–2019–2–40–47

Об авторах:

Зобнина Ирина Валентиновна — научный сотрудник лаборатории растениеводства, Приморский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук — «Архангельский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Российская Федерация, 163032, Архангельская обл., Приморский р-н., пос. Луговой, д. 10; e-mail: 19651960@mail.ru

Корелина Валентина Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, Приморский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук — «Архангельский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Российская Федерация, 163032, Архангельская обл., Приморский р-н., пос. Луговой, д. 10; e-mail: korelina60@mail.ru

Батакова Ольга Борисовна — кандидат сельскохозяйственных наук, Приморский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук — «Архангельский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Российская Федерация, 163032, Архангельская обл., Приморский р-н., пос. Луговой, д. 10; e-mail: 19651960@mail.ru

About authors:

Zobnina Irina Valentinovna — Researcher, Plant Growing Laboratory, Branch of Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences — Arkhangelsk Research Institute of Agriculture, 10, Lugovoy vil., Primorsky district, Arkhangelsk region, 163032, Russian Federation; e-mail: 19651960@mail.ru

Korelina Valentina Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Branch of Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences — Arkhangelsk Research Institute of Agriculture, 10, Lugovoy vil., Primorsky district, Arkhangelsk region, 163032, Russian Federation; e-mail: korelina60@mail.ru

Batakova Olga Borisovna — Candidate of Agricultural Sciences, Branch of Federal Center for Integrated Arctic Research of the Russian Academy of Sciences — Arkhangelsk Research Institute of Agriculture, 10, Lugovoy vil., Primorsky district, Arkhangelsk region, 163032, Russian Federation; e-mail: 19651960@mail.ru



Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-272-280
UDC 631.559:633.521

Research article / Научная статья

Evaluation of yield and its components for some flax genotypes

Taha A. Omar

Field Crops Research Institute, Giza, Egypt
drtahaomar@yahoo.com

Abstract. Sixteen flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes were evaluated at Gemmeiza Agricultural Research Station, Agricultural Research Center, El-Gharbia Governorate, Egypt during the two successive seasons 2015/2016 and 2016/2017. Randomized complete block design with three replications was used. Phenotypic and genotypic coefficients of variation for all studied traits had closely values. High heritability coupled with high genetic advance (as % of mean) for most studied traits. Plant height, technical length and stem diameter were the best selection indices to improve straw yield /plant, along with number of branches, capsules and seeds were effective selection criteria for improving seed yield /plant as proven by phenotypic and genotypic correlation.

Keywords: Flax, genetic variability, correlation, heritability, genetic advance

Article history:

Received: 22 July 2020. Accepted: 12 August 2020

For citation:

Omar TA. Evaluation of yield and its components for some flax genotypes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3):272—280. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-272-280

Introduction

Flax (*Linum usitatissimum* L.) as the oldest fiber crop in Egypt is one of the most important industrial crops for straw and seed yields. Genetically improvement of flax yield either straw and seed are considered the major challenge of flax breeder around the world. It could be achieved by identifying the nature and magnitude of genetic variability, determining the best selection criteria via phenotypic and genotypic correlation in the breeding materials.

© Omar T.A., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Earlier literature of variability flax genotypes showed significant differences for yield and yield attributes and is considered as one of the most important sources of genetic variability that was reported by [1–5].

Moreover, the study of phenotypic and genotypic correlation is considered an effective selection tool for selecting the best individual traits of strong correlation with yield. This was reported by [6] who indicated that straw weight had significant positive correlation with each of plant height, seed weight/plant, number of capsules/ plant and 1000-seed weight. However, seed weight/plant was positively and significantly correlated with both number of capsules/plant and 1000-seed weight. In [7] showed that straw weight / plant was positive and significantly correlated with each of technical length, plant height and seed weight/plant. Also, plant height exhibited positive correlation with technical length. Whereas, seed weight per plant exhibited positive correlation with both capsules number/plant and 1000-seed weight. Whereas, the correlation between oil percentage with both of 1000-seed weight and capsules number per plant was positive.

Therefore, the present study aimed to evaluate sixteen flax genotypes in relation to straw and seed yields and their components, to assess genetic parameters for various traits and to estimate correlation coefficients between traits.

Materials and methods

Two field experiments were carried out at Gemmeza Agric. Res. Station during the two successive seasons 2015/2016 and 2016/2017 to evaluate sixteen flax genotypes for yield and yield components, to estimate some genetic parameters, to determinate selection criteria for improving yield of flax genotypes.

These genotypes included the local nine commercial varieties i.e. Sakha 1, Sakha 2, Sakha 3, Sakha 4, Sakha 6, Giza 9, Giza 10 Giza 11 and Giza 12, five imported varieties; Belinka, Sezir, Sofya, Prhiton and Pilton in addition to the two promising strains; S.2467/1 and S.2419/1 which were released by Fiber Crops Res Dep. The pedigree of flax genotypes is described in Table 1. These materials were planted on the second week of November at both seasons by using a randomized complete block design with three replications.

Table 1

Pedigree of the sixteen flax genotypes under study and their classification (fiber type – F, dual type – D., oil type – O.)

Genotypes	Pedigree	Type
1- Sakha 1	Bombay × I. 1485	D
2- Sakha 2	Hera × I. 2348	D
3- Sakha 3	Belinka × 1.2569	F
4- Sakha 4	Belinka × 1.2069	F
5- Sakah 6	Giza 8 × S.2419/1	D
6- Giza 9	S.420/140/5/10 × Bombay	F
7- Giza 10	S.420/140/5/10 × Bambay	F
8- Giza 11	Giza 8 × S.2419/1	D

Ending Table 1

Genotypes	Pedigree	Type
9- Giza 12	S.2419/1 × S.148/6/1	D
10- Belinka	Introduction from Holand	F
11- Sezir	Introduction from Belgium	F
12- Sofya	Introduction from Belgium	F
13- S.2467/1	Introduction from indian (selection from Hira 17/34–1)	O
14- S.2419/1	I.715 × I.2465	O
15- Prhiton	Introduction from Ethiopia	O
16- Pilton	Introduction from Ethiopia	O

Normal cultural practices for flax production as recommended were followed for each genotype type. At full maturity, ten randomly guarded plants from each plot were recorded to determinate the averages of the individual plant traits. Straw and seed yields were calculated on plot basis. Oil percentage was determined as an average of two random seed samples / plot using Soxhlet apparatus [8]. The following characters were recorded i.e. Plant height, cm, Technical length, cm, Main stem diameter, mm, number of fruiting branches., Straw yield /plant, g, Straw yield/fad, ton, Fiber percentage, %, number of capsules/plant., number of seeds /capsule., Seed yield/plant., g, Seed yield/fad, kg and Oil percentage, %.

Standard statistical techniques of the mean values for all traits such as analyses of variance using randomized complete block design with three replications was performed according to [9]. The combined analyses of variance (across the two seasons) were done after confirmed of error variance of homogenous according to [9] for two evaluated seasons. Genotypic and phenotypic coefficients of variation were estimated according to [10], broad sense heritability (H²_b) [11], genetic advance as percent of the mean [12], phenotypic and genotypic correlation coefficient [13].

Results and discussion

Mean performance. Highly significant differences were detected among flax genotypes for all studied traits in both seasons and their combined analyses as presented in Table 2. This result indicating the presence of sufficient magnitude of genetic variability allow to effective selecting of superior or preferred genotypes.

As shown in the combined analyses (Table 2), Giza 11 gave the highest values for straw yield / fad (5.05 ton) followed by Giza 12 (5.02 ton) and Giza 9 (4.45 ton). While Giza 11 gave the highest values for seed yield/fad (743.83 kg) followed by introduced variety Prhiton (683.00 kg) and Giza 12 (649.50 kg). The maximum values were in Giza 12 for plant height; 94.69 for technical stem length; 2.19 for stem diameter; 20.07 for number of fruiting branches / plant; 8.20 for number of seeds / capsule; 0.92 for seed yield / plant and 35.82 for oil % based on combined data. Several investigators found varietal differences among flax genotypes such as [2—5, 7, 14—16].

Table 2

Means of straw, seed yields and their related characters for sixteen flax genotypes in 2015/16 (1st) and 2016/17 (2nd) seasons and their combined analyses (Com.)

Genotypes	Plant height (cm)			Technical stem length (cm)			Stem diameter (mm)		
	1st	2nd	com	1st	2nd	com	1st	2nd	com
Sakha 1	100.38	105.22	102.80	85.59	87.47	86.53	1.05	1.07	1.06
Sakha 2	104.92	105.70	105.31	88.40	89.48	88.94	2.33	2.04	2.19
Sakha 3	100.85	101.62	101.24	89.00	81.90	85.45	1.55	1.43	1.49
Sakha 4	96.33	96.48	96.41	86.75	88.86	87.81	0.95	1.01	0.98
Sakha 6	103.06	102.33	102.70	89.58	88.41	88.99	1.01	1.02	1.02
Giza 9	99.66	101.04	100.35	89.99	91.90	90.95	0.91	1.05	0.98
Giza 10	94.59	95.80	95.20	80.54	82.40	81.47	1.05	1.12	1.09
Giza 11	104.10	105.54	104.82	91.96	91.01	91.49	2.03	1.93	1.98
Giza 12	105.28	106.14	105.71	95.54	93.83	94.69	1.92	2.08	2.00
Belinka	86.33	90.13	88.23	83.06	83.50	83.28	0.72	0.70	0.71
Sezier	87.64	88.29	87.97	83.19	83.84	83.52	0.90	0.89	0.90
Sofia	90.96	90.04	90.50	88.72	83.82	86.27	1.52	1.48	1.50
S.2467/	90.68	91.29	90.99	81.14	78.99	80.06	1.41	1.37	1.39
S.2419/	89.26	90.09	89.68	81.84	76.69	79.26	0.79	0.83	0.81
Prhiton	81.31	81.98	81.65	69.88	73.92	71.90	2.00	2.02	2.01
Pilton	88.51	88.30	88.41	72.80	73.24	73.02	1.47	2.12	1.79
LSD5 %	8.77	6.80	7.30	5.78	7.38	4.98	0.41	0.26	0.30
LSD1 %	11.80	9.15	9.82	7.78	9.94	6.70	0.56	0.35	0.40

Continued Table 2

Genotypes	Number of fruiting branches/ plant			Straw yield/ plant (g)			Straw yield / fad (ton)		
	1st	2nd	com	1st	2nd	com	1st	2nd	com
Sakha 1	11.11	11.45	11.28	4.34	3.86	4.10	3.87	3.88	3.88
Sakha 2	15.67	16.01	15.84	3.84	4.04	3.94	4.54	4.21	4.37
Sakha 3	7.94	7.17	7.56	3.82	3.86	3.84	3.99	4.17	4.08
Sakha 4	7.25	8.07	7.66	3.27	3.68	3.48	4.02	4.23	4.13
Sakha 6	6.90	7.67	7.29	4.05	4.13	4.09	4.46	4.24	4.35
Giza 9	8.67	8.22	8.45	3.99	3.97	3.98	4.57	4.32	4.45
Giza 10	9.16	8.82	8.99	3.32	3.68	3.50	4.47	4.31	4.39
Giza 11	20.52	14.11	17.32	4.90	4.06	4.48	5.35	4.75	5.05
Giza 12	21.75	14.72	18.24	4.94	4.12	4.53	5.23	4.81	5.02
Belinka	6.55	6.64	6.59	3.19	3.16	3.18	3.44	3.74	3.59
Sezier	5.45	5.92	5.69	2.47	2.61	2.54	3.74	3.73	3.74
Sofia	6.52	6.14	6.33	2.38	2.41	2.40	3.95	3.61	3.78
S.2467/	10.72	12.19	11.46	3.53	3.28	3.41	4.33	4.12	4.22
S.2419/	11.51	11.48	11.49	3.40	3.11	3.25	4.04	4.19	4.11
Prhiton	19.60	20.53	20.07	3.58	3.52	3.55	3.65	3.69	3.67
Pilton	16.98	19.67	18.33	2.65	2.14	2.39	3.75	3.80	3.77
LSD5 %	2.53	1.97	1.74	0.76	0.46	0.50	0.63	0.25	0.37
LSD1 %	3.41	2.66	2.34	1.03	0.62	0.68	0.85	0.33	0.50

Continued Table 2

Genotypes	Fiber percentage (%)			Number of capsules /plant			Number of seeds /capsule		
	1st	2nd	com	1st	2nd	com	1st	2nd	Com
Sakha 1	15.63	16.70	16.16	23.37	26.35	24.86	6.46	6.87	6.66
Sakha 2	13.91	14.53	14.22	24.03	26.64	25.33	6.91	7.40	7.16
Sakha 3	18.39	20.30	19.35	22.19	22.40	22.29	5.41	5.50	5.45
Sakha 4	18.86	17.72	18.29	19.44	21.05	20.25	5.64	5.27	5.45
Sakha 6	17.56	18.87	18.21	23.92	24.67	24.30	6.27	6.13	6.20
Giza 9	18.15	19.40	18.78	22.06	23.78	22.92	5.95	6.20	6.07
Giza 10	18.74	17.47	18.11	26.89	26.94	26.92	5.83	5.27	5.55
Giza 11	15.61	16.20	15.91	31.29	31.52	31.41	7.67	5.53	6.60
Giza 12	15.36	16.97	16.16	32.74	33.87	33.31	9.13	7.27	8.20
Belinka	18.69	21.75	20.22	17.32	17.91	17.61	5.78	5.03	5.41
Sezier	20.62	21.58	21.10	15.24	15.73	15.49	5.76	5.13	5.45
Sofia	20.52	21.53	21.03	14.38	14.23	14.31	5.60	5.03	5.32
S.2467/	16.17	16.63	16.40	22.12	23.76	22.94	7.57	5.67	6.62
S.2419/	16.21	16.70	16.46	21.70	22.00	21.85	7.31	5.60	6.46
Prhiton	15.09	15.62	15.35	33.07	30.98	32.03	7.70	5.20	6.45
Pilton	17.40	18.66	18.03	28.41	29.00	28.71	7.47	5.17	6.32
LSD5%	2.20	1.88	1.42	3.76	4.84	4.03	1.17	0.74	0.68
LSD1%	2.96	2.52	1.91	5.07	6.52	5.43	1.57	1.00	0.91

Ending Table 2

Genotypes	Seed yield /plant (g)			Seed yield / fad (kg)			Oil present age (%)		
	1st	2nd	com	1st	2nd	com	1st	2nd	com
Sakha 1	0.79	0.80	0.80	595.00	547.67	571.33	32.48	32.59	32.54
Sakha 2	0.83	0.97	0.90	661.00	632.00	646.50	32.71	32.22	32.47
Sakha 3	0.67	0.63	0.65	376.00	418.33	397.17	32.22	31.85	32.04
Sakha 4	0.63	0.61	0.62	394.33	392.67	393.50	32.15	31.60	31.88
Sakha 6	0.65	0.62	0.63	653.33	406.00	529.67	33.25	33.37	33.31
Giza 9	0.72	0.68	0.70	411.00	399.33	405.17	32.67	31.55	32.11
Giza 10	0.61	0.57	0.59	436.67	284.00	360.33	31.67	31.88	31.78
Giza 11	0.95	0.81	0.88	730.67	757.00	743.83	33.37	33.37	33.37
Giza 12	0.97	0.48	0.72	786.00	513.00	649.50	32.67	32.34	32.50
Belinka	0.40	0.34	0.37	304.00	255.67	279.83	32.41	32.37	32.39
Sezier	0.44	0.37	0.40	336.33	330.67	333.50	29.18	31.90	30.54
Sofia	0.47	0.42	0.45	327.67	215.33	271.50	32.48	32.30	32.39
S.2467/	0.86	0.62	0.74	499.00	505.33	502.17	35.33	32.71	34.02
S.2419/	0.85	0.68	0.77	492.67	533.00	512.83	35.37	31.18	33.27
Prhiton	0.91	0.93	0.92	661.33	704.67	683.00	35.78	35.86	35.82
Pilton	0.90	0.87	0.88	623.00	551.00	587.00	35.03	35.10	35.06
LSD5%	0.08	0.13	0.09	91.45	160.40	102.08	2.34	1.35	1.53
LSD1%	0.11	0.18	0.12	123.15	215.99	137.45	3.15	1.82	2.06

Estimation of genetic parameters. To identify the amount of genetic variability of the tested flax genotypes, the range, mean, phenotypic (PCV) and genotypic (GCV) coefficients of variation, heritability in broad sense (H_{2b}) and genetic advance (GA) were computed for twelve traits (Table 3).

It is apparent from Table 3 that all flax genotypes tested exhibited broad-range values for all traits. Plant height varied from 81.65 to 105.71 with a mean of 95.75 cm; technical stem length from 71.90 to 94.69 with a mean of 84.60 cm, main stem diameter from 0.71 to 2.19 with a mean of 1.37 mm; number of fruiting branches from 5.69 to 20.07 with a mean of 11.41; straw yield per plant from 2.39 to 4.53 with a mean of 3.54 g; fiber percentage from 14.22 to 21.10 with a mean of 17.74; number of capsules per plant from 14.31 to 33.31 with a mean of 24.03; number of seeds per capsule from 5.32 to 8.20 with an average of 6.21; seed yield per plant from 0.37 to 0.92 with an average of 0.69 g and oil percentage from 30.54 to 35.82 with an average of 32.84 kg.

Phenotypic coefficient of variation (PCV) differed from their corresponding genotypic (GCV) one for plant height, technical stem length, number of fruiting branches / plant and number of capsules / plant, whereas phenotypic and genotypic coefficients variation for stem diameter, straw yield / plant, fiber%, number of seeds / capsule, seed yield / plant and oil% had close values.

Genotypic coefficient of variation reached maximum (70.26) for number of fruiting branches, number of capsules per plant (40.78), plant height (18.21) and technical length (14.65).

Heritability in broad sense along with genetic advance are considered as a reliable indices for selecting the effective traits in improvement flax yield as confirmed earlier by [12].

High heritability coupled with high values of genetic advance (as % of mean) for all characters, except plant height and oil% which were moderate as presented in Table 3. This indicates the importance of additive gene action in the inheritance of these traits, thus selecting one or more of these traits would be effective in improving flax yield. Similar results were reported by [1, 3, 6—7, 17—18].

Table 3

Genetic parameters of sixteen flax genotypes for straw, seed yields and their related characters as combined analyses of 2015/16 and 2016/17 seasons

Genotypes		Plant height (cm)	Technical stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Number of fruiting branches/plant	Straw yield/plant (g)
Range	Min	81.65	71.90	0.71	5.69	2.39
	Max	105.71	94.69	2.19	20.07	4.53
Mean		95.75	84.60	1.37	11.41	3.54
VG		52.29	37.18	0.23	24.05	0.42
VP		52.29	37.18	0.23	24.05	0.42
PCV		24.87	18.16	6.41	73.45	4.84
GCV		18.21	14.65	5.62	70.26	3.98
H ₂		0.73	0.81	0.88	0.96	0.82
GA 5 %		12.76	11.30	0.93	9.90	1.22
GA% of means		13.33	13.36	67.77	86.73	34.37

Ending Table 3

Genotypes		Fiber percentage (%)	Number of capsules /plant	Number of seeds /capsule	Seed yield /plant (g)	Oil (%)
Range	Min	14.22	14.31	5.32	0.37	30.54
	Max	21.10	33.31	8.20	0.92	35.82
Mean		17.74	24.03	6.21	0.69	32.84
VG		3.93	29.40	0.55	0.03	1.40
VP		4.65	35.25	0.72	0.03	2.24
PCV		8.73	48.89	3.86	1.57	2.27
GCV		7.38	40.78	2.98	1.44	1.42
H2		0.84	0.83	0.77	0.92	0.63
GA 5 %		3.76	10.22	1.35	0.34	1.93
GA% of means		21.18	42.51	21.74	49.33	5.88

PCV: phenotypic coefficient of variation, GCV: Genotypic coefficient of variation, H2b: broad sense heritability, GA: Genetic advance, GAM%: Genetic advance as percent of mean

Association of traits. Phenotypic (rp) and genotypic (rg) correlations were estimated between straw/plant, seed yield/plant and its attributes for sixteen flax genotypes based on average of 2015/2016 and 2016/2017 seasons as presented in Table 4. Straw yield per plant was positively and significantly or highly significantly correlated with plant height and technical stem length. Also, high significant positive correlations were observed among seed yield/plant and main stem diameter, number of fruiting branches, number of capsules/plant and number of seeds/capsule, indicating that the breeder can utilize such correlated response to obtain high straw and seed yielding genotypes through selection for one or more of these characters. These results are in harmony with those reported by [6—7, 19—20]. In general, the pattern of association of straw and seed yields with other related traits supports the evidence for the possibility of selecting genotypes characterized with high straw yielding ability and in the same time high seed yield potentialities.

Table 4

Phenotypic and genotypic correlation of sixteen flax genotypes for straw, seed yields and its related characters as combined analyses of 2015/2016 and 2016/2017 seasons

Traits	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1	1.000	0.733**	0.200	0.055	0.688**	-0.282	0.242	0.351	0.205	-0.274
X2	0.916**	1.000	-0.018	-0.203	0.522*	0.033	-0.055	0.241	-0.150	-0.456
X3	0.246	0.035	1.000	0.777**	0.234	-0.529*	0.576*	0.523*	0.631**	0.356
X4	0.059	-0.228	0.826**	1.000	0.294	-0.733**	0.792**	0.694**	0.809**	0.595*
X5	0.853**	0.680**	0.277	0.305	1.000	-0.555*	0.524*	0.480	0.419	-0.059
X6	-0.354	-0.001	-0.606*	-0.805**	-0.618*	1.000	-0.665**	-0.653**	-0.806**	-0.394
X7	0.350	-0.011	0.705**	0.907**	0.645**	-0.804**	1.000	0.662**	0.694**	0.499*
X8	0.504*	0.261	0.634**	0.786**	0.646**	-0.871**	0.756**	1.000	0.592*	0.298
X9	0.261	-0.184	0.671**	0.862**	0.439	-0.919**	0.838**	0.700**	1.000	0.558
X10	-0.403	-0.703**	0.558*	0.780**	0.016	-0.595*	0.618*	0.381	0.749	1.000

X1: Total plant height, X2: Technical length, X3: Stem diameter, X4: Number of fruiting branches/plant, X5: straw yield/ plant, X6: Fiber percentage, X7: Number of capsule /plant, X8: Number of seeds /capsule, X9: Seed yield /plant, X10: Oil percentage.

Conclusion

From above mentioned results, it can be concluded that valuable phenotypic and genotypic variability or divergence were detected among tested flax genotypes for the studied characters. Thus, there is a great opportunity in improvement flax yield through direct selection and crossing among tested flax genotypes to create viable and potential segregant populations for the subsequent breeding work.

References

1. Mourad NKM, Mostafa SHA, Zahana AEA. Yield components, quality and variability assessment of some flax genotypes. *Egypt J plant Breed.* 2003; 7(2):129–142.
2. Abd El-Daiem MAM, El-Borhamy AMA. Effect of nitrogen, phosphor and potassium fertilization on yield of flax and quality under sandy soils. *J Plant Production.* 2015; 6(6):1063–1075. doi: 10.21608/jpp.2015.49830
3. Al-Sadek MSA, Abd El-Haleem RA, Abo-Kaied HMM. Evaluation of yield and its components for sixteen flax genotypes under normal and sandy soil conditions. *J Plant Production.* 2015; 6(7):1217–1230. doi: 10.21608/jpp.2015.51235
4. El-Borhamy AMA, Mohamed ENM, Abd Al-Sadek MS. Comparison of yield, its components and chemical composition of some flax genotypes. *J Plant Production.* 2017; 8(1):13–17. doi: 10.21608/jpp.2017.37462
5. Maurya AC, Raghuvver M, Goswami G, Kumar S. Influences of date of sowing on yield attributes and yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) varieties under dryland condition in Eastern Uttar Pradesh. *Int J Curr Microbiol App Sci.* 2017; 6(7): 481–487. doi: 10.20546/ijcmas.2017.607.057
6. Abd El-Haleem RA, Abd Al-Sadek MS, Abo-Kaied HMM. Genotype x environment interaction and stability analyses for yield and yield components in ten flax genotypes. *Annals of Agric Sci Moshtohor.* 2016; 54(3):581–590.
7. Abo El-Komsan SM, Abd Al-Sadek MS, Abd El-Haleem RA. Study of some flax characters, genetic stability and their relation to yield. *J Plant Production.* 2017; 8(2):181–186. doi: 10.21608/jpp.2017.39604
8. AOAC. Official Methods of Analysis. 16th ed. Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists; 1995.
9. Gomez KA, Gomez AA. Statistical procedures for agricultural research. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons; 1984.
10. Burton GW, DeVane EH. Estimating heritability in all fescue (*Festuca arundinacea*) from replicated clonal material. *Agron J.* 1953; 45(10):478–481. doi: 10.2134/agronj1953.00021962004500100005x
11. Hansen CH, Robinson HF, Comstock RE. Biometrical studies of yield in segregating populations of Korean lespedeza. *Agronomy J.* 1956; 48(6): 268–272. doi: 10.2134/agronj1956.00021962004800060008x
12. Johnson HW, Robinson HF, Comstock RE. Estimates of genetic and environmental variability in soybeans. *Agron J.* 1955; 47(7):314–318. doi: 10.2134/agronj1955.00021962004700070009x
13. Weber CR, Moorthy BR. Heritable and non-heritable relationship and variability of oil content and agronomic traits in the F2 generations of soybean crosses. *Agron J.* 1952; 44:202–209.
14. El-Shimy GH, Abd El-Dayem MA, Amany-El-Refaie MM. Estimation some genetic parameters and trait correlations in some flax genotypes. *Egypt. J. Agric. Res.* 2007; 85(5): 1785–1800.
15. El-Borhamy AMA. Effect of seeding rates and nitrogen fertilizer levels on yield and yield components of two new flax cultivars. *J Agric Res Kafr El-Sheikh Univ.* 2016; 42(2): 183–195. doi: 10.21608/jrs.2016.2884
16. Abo-Marzoka EA, El-Borhamy AMA. Response of flax plant to foliar spray by urea and some of micronutrients mixture under different nitrogen levels. *Alex J Agric Sci.* 2018; 63(4):251–261.
17. Abo-Kaied HMM. Phenotypic, genotypic variances, heritability and expected genetic advance of yield and its components in F3 and F4 generations of some flax hybrids. *J Agric Sci Mansoura Univ.* 2003; 28(9):6582–6594.
18. Zahana Afaf EA, Abo-Kaied HMM. Straw and seed yields improvement in flax via selection for some yield components in early generations of some flax hybrids. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.* 2007; 32(2): 831–843.
19. Amany-El-Refaie MM, Omar TA, Abo-Kaied HMM. Line x tester analyses for yield and its components in some flax genotypes under sandy soil conditions. *Egypt. J. of Appl. Sci.* 2011; 26(9): 570–586.
20. Amany-El-Refaie MM, Omar TA. Flax lines improvement via independent culling levels selection (ICL) Methods under Sandy soil conditions. *Egypt. J. Appl. Sci.* 2012; 27(5): 271–285.

About author:

Taha Ahmed Omar — Agricultural Research Center, Fiber Crops Research Department, Field Crops Research Institute, 9 Gamaa st., Giza, 12619, Egypt; e-mail: drtahaomar@yahoo.com

Оценка урожайности генотипов льна

Taha A. Omar

Институт исследований полевых культур, г. Гиза, Египет
drtahaomar@yahoo.com

Аннотация. Шестнадцать генотипов льна *Linum usitatissimum* L. исследованы по показателям урожайности на сельскохозяйственной исследовательской станции Геммеиза в Центре сельскохозяйственных исследований (Египет, мухафаза Эль-Гарбия) в течение двух вегетационных периодов 2015/2016 и 2016/2017 гг. Блочный рандомизированный эксперимент выполнялся с тремя повторностями. Фенотипические и генотипические коэффициенты вариации для всех изученных признаков имели близкие значения. Высокая наследуемость коррелировала с высоким генетическим прогрессом, % от среднего, для большинства изученных признаков. Высота растения, техническая длина и диаметр стебля служили лучшими критериями для контроля увеличения урожайности. Количество ветвей, коробочек и семян также использовались и были не менее эффективными критериями отбора для повышения урожайности растений льна, что подтвердилось фенотипической и генотипической корреляцией.

Ключевые слова: лен, генетическая изменчивость, корреляция, наследственность, генетический прогресс

История статьи:

Поступила в редакцию: 22 июля 2020 г. Принята к публикации: 12 августа 2020 г.

Для цитирования:

Omar T.A. Evaluation of yield and its components for some flax genotypes // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 272—280 doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-272-280

Об авторе:

Taha Ahmed Omar — центр сельскохозяйственных исследований, департамент исследований прядильных культур, Институт исследований полевых культур, 12619, Египет, г. Гиза, ул. Гамаа, д.9; e-mail: drtahaomar@yahoo.com

Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-281-293

УДК 631.454

Научная статья / Research article

Анализ оптимальности размещения географической сети длительных опытов по применению удобрений

И.Ю. Савин^{1,2}

¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,
г. Москва, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов,
г. Москва, Российская Федерация
savin_iyu@esoil.ru

Аннотация. Основы Географической сети опытов с удобрениями России (ГСОУ), заложенные в 1930—1940 г., коренным образом не менялись, что обеспечивало преемственность научных исследований. Но с тех пор накопилось достаточно много новых научных данных, появились новые технологии, базы данных, на основе которых ГСОУ может и должна быть модернизирована. Рассмотрен один из вопросов необходимой модернизации ГСОУ — пространственное размещение опытных полей и их репрезентативности. В качестве основы использован Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (ЕГРПР) для проведения анализа оптимальности размещения опытных полей ГСОУ. Считалось, что в идеале опытные поля должны характеризовать каждую почву, внесенную в ЕГРПР и используемую в качестве пашни. Согласно полученным данным, существующая сеть ГСОУ репрезентативна для 42 % пашни России. Показано, что для полной репрезентативности сеть должна быть расширена более чем на 90 точек. Только в этом случае результаты опытов могут быть экстраполированы практически на все пахотные почвы России. В основу размещения новых точек ГСОУ должна быть положена информация ЕГРПР как официального документа, принятого Минсельхозом России.

Ключевые слова: опыты с удобрениями, почвы, Россия, размещение сети опытов, агрохимия, единый реестр почвенных ресурсов России

Заявление о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ (№ 19–05–50063) и РНФ (№ 20–67–46017).

История статьи:

Поступила в редакцию: 16 августа 2020 г. Принята к публикации: 31 августа 2020 г.

© Савин И.Ю., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Для цитирования:

Савин И.Ю. Анализ оптимальности размещения географической сети длительных опытов по применению удобрений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 281—293. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-281-293

Analysis of the optimal location of the geographical network of long-term experiments with fertilizers application

Igor Yu. Savin^{1, 2}

¹Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

²Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation
savin_iyu@esoil.ru

Abstract. The foundations of the Geographic Network of Experiments with Fertilizers of Russia (GNEF), established in the 1930—1940s, have not changed fundamentally so far, which ensured the continuity of scientific research. But since then, quite a lot of new scientific data has been accumulated, there are new technologies, databases, on the basis of which GNEF can and should be modernized. The article deals only with one of the issues of the necessary modernization of GNEF — the spatial location of experimental fields and their representativeness. The Unified State Register of Soil Resources of Russia (USRSRR) was used as a basis for analysis of the optimal placement of experimental fields of GNEF. It was considered, that ideally experimental fields should characterize each soil, entered in USRSRR and used as arable land. According to the data obtained, the existing GNEF network is representative for 42% of Russian arable land. It was shown that for full representation it should be extended by more than 90 points. Only in this case the results of the network experiments can be extrapolated to almost all arable soils in Russia. The placement of new GNEF points should be based on the information from USRSRR, as an official document adopted by the Ministry of Agriculture of Russia.

Keywords: experiments with fertilizers, soil, Russia, placement of a network of experiments, agrochemistry, Unified Register of soil resources of Russia

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Financing. Acknowledgments. The research was carried out with financial support of the Russian Foundation for Basic Research (No. 19–05–50063) and the Russian Science Foundation (No. 20–67–46017).

Article history:

Received: 16 August 2020. Accepted: 31 August 2020

For citation: Savin IY. Analysis of the optimal location of the geographical network of long-term experiments with fertilizers application. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3):281—293. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-281-293

Введение

Агрохимическое обслуживание сельского хозяйства — один из важнейших факторов производства продуктов питания в необходимом объеме и качестве. Невысокое естественное плодородие большей части почв мира не позволяет в настоящий момент решить проблему обеспечения населения Земли продовольствием.

Только за счет использования органических и минеральных удобрений удается поддерживать урожайность сельскохозяйственных культур на приемлемом уровне. В большинстве стран мира получение необходимого урожая сельскохозяйственных культур зависит от применения удобрений и их количества. Так, например, в России дифференцированное применение высоких, интенсивных и нормальных технологий при использовании 200 кг/га минеральных удобрений позволяет получить 273 млн. т зерна при окупаемости удобрений зерном 12 кг зерна за 1 кг действующего вещества удобрений [1]. Этого можно достичь как за счет изменения соотношения экспортируемых и производимых удобрений в стране, так и за счет развития агрохимии и создания и внедрения новых видов удобрений.

Развитие агрохимии невозможно без полевых экспериментов и опытов. Первые длительные агрохимические опыты были заложены уже более 150 лет назад, например, на Ротамстедской опытной станции в Англии [2, 3]. В России первые систематические агрохимические опыты на полях также были начаты более 100 лет назад [4]. Но основное развитие в стране полевые агрохимические опыты получили после революции, в связи с бурным развитием агрохимии как науки.

В 1941 г. была организована Географическая сеть опытов с удобрениями (ГСОУ) [5]. Для организаций — участников сети создали специальные инструкции и методические указания, а научное обоснование размещения сети было осуществлено под руководством Д.Н. Прянишникова.

Принципы функционирования ГСОУ и основные результаты ее деятельности освещены в научных публикациях, обсуждаются на регулярных всероссийских конференциях [4, 6—10].

ГСОУ ведет научные исследования и разрабатывает практические рекомендации по использованию удобрений под наиболее значимые сельскохозяйственные культуры с учетом севооборотов, агротехнологий в разных природных условиях. Кроме того, на ГСОУ возложены обязанности по регистрационным испытаниям новых удобрений. Научно-методическое руководство работ ГСОУ осуществляет Всероссийский НИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (ВНИИА).

Наибольшего развития ГСОУ получила в 1980 гг., когда в ее работе принимало участие более 300 научных учреждений, включая учреждения России, Украины, Казахстана и Белоруссии [8, 11].

В настоящее время в рамках ГСОУ более 100 учреждений России проводится более 300 полевых опытов [4].

Таким образом, основы ГСОУ, заложенные в 1930—1940 гг., коренным образом не менялись, что обеспечивало преемственность научных исследований. Но с тех пор накопилось достаточно много новых научных данных, обновилась технология, созданы базы данных, на основе которых ГСОУ может и должна быть модернизирована. Так, в 2014 г. Минсельхоз России утвердил Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, который содержит наиболее полную и актуальную информацию о почвенных ресурсах страны, ЕГРПР может и должен быть положен в основу обновленной ГСОУ [12].

Цель исследования — проанализировать пространственное размещение опытных полей и их репрезентативность с точки зрения оптимальности и необходимости модернизации ГСОУ.

Материалы и методы исследования

Согласно данным, представленным на сайте ГСОУ, в интернет в настоящее время в сеть входит 67 опытных участков [5]. Их размещение показано на рис. 1, а список приведен в табл. 1.



Рис. 1. Размещение опытных полей ГСОУ

Fig. 1. Fields of Geographic Network of Experiments with Fertilizers

Таблица 1

Перечень опытных полей ГСОУ согласно [5]

Название учреждения	Расположение
Научно-исследовательский и проектно-технологический институт АПК Республики Коми	г. Сыктывкар
Северо-Западный НИИСХ «Белогорка»	59,21N30,08E
Псковский НИИСХ	г. Псков
Агрофизический институт	г. Санкт-Петербург
Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт органических удобрений и торфа (ВНИПТИОУ)	56,5 N40,05 E
Всероссийский научно-исследовательский институт льна	57,02 N35,01 E
Тульский НИИСХ	г. Плавск, Тульской обл.
Костромской НИИСХ	г. Кострома
Долгопрудная агрохимическая опытная станция	56N37E
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центральных районов Нечерноземной зоны РФ	г. Одинцово, Московской обл.
Всероссийский научно-исследовательский институт кормов	г. Лобня, Московской обл.
Всероссийский научно-исследовательский институт зернобобовых и крупяных культур	г. Орел

Продолжение табл. 1

Название учреждения	Расположение
Центральная опытная станция ВИУА	55,30N37,36E
Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева	г. Москва, 56,0N37,5E
Смоленский НИИСХ	54,48N31,53E
Новозыбковская опытная станция	52,31N51,31 E
Мордовский НИИСХ	г. Саранск
Северо-Восточный научно-методический центр РАСХН	58,5N49,5E
Нижегородский научно-исследовательский и проектно-технологический институт АПК	г. Нижний Новгород
Нижегородская ГСХА	г. Нижний Новгород
Белгородский НИИСХ	г. Белгород
Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова (ВНИИСС)	51,53 N39,18E
Воронежский ГАУ им. К.Д. Глинки	51,60 N39,2E
Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства	52N37E
Тамбовский НИИСХ	52,1N42E
Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии	г. Курск
Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы им. В.В. Докучаева	51N40,40E
Мичуринская ГСХА	52,5N40,5E
Казанская ГСХА	г. Казань
НИИСХ Юго-Востока	51,35 N45,59E
Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия (ВНИИОЗ)	48,40N44,30E
Самарская ГСХА	г. Кинель
Нижне-Волжский НИИСХ	49N44,3E
Самарский НИИСХ	52,59N49,25E
Пензенская ГСХА	г. Пенза
Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова	г. Кинель, Самарская область
Краснодарский НИИСХ им. П.П. Лукьяненко	45,5N39 E
Донской зональный НИИСХ	47,4N40,1E
Всероссийский научно-исследовательский институт риса	г. Краснодар
Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного сельского хозяйства	Северная Осетия, Пригородный район
Северо-Кавказский зональный НИИ садоводства и виноградарства	г. Краснодар
Кабардино-Балкарский НИИСХ	г. Нальчик
Ставропольский НИИСХ	Ставропольский край, Шпаковский район
Горский ГАУ	Северная Осетия, г. Владикавказ
Ставропольский ГСХА	г. Ставрополь
Северо-Кавказская опытная станция ВИМ	г. Армавир
Башкирский НИИ земледелия и селекции полевых культур	г. Уфа
Пермский НИИСХ	58,5N56,5E
Челябинский НИИСХ	54,56N60,44E
НИИСХ Северного Зауралья	г. Тюмень
Удмуртский НИИСХ	Удмуртская республика, Завьяловский район

Окончание табл. 1

Название учреждения	Расположение
Ижевская ГСХА	г. Ижевск
УрНИИСХ	г. Екатеринбург
Соликамская сельскохозяйственная опытная станция им. В.Н. Прокошева	Пермская область, Соликамский район
Шадринская сельскохозяйственная опытная станция им. Т.С. Мальцева	Курганская область, Шадринский район
Сибирский НИИСХ	г. Омск
Алтайский Государственный аграрный университет	г. Барнаул
Нарымская государственная селекционная станция	Томская область, г. Колпашево
Алтайский НИИ земледелия и селекции сельскохозяйственных культур (АНИИЗиС)	г. Барнаул
Сибирский научно-исследовательский и проектно-технологический институт животноводства (СибНИПТИЖ)	Новосибирская область, г. Краснообск
СибНИИЗХим	Новосибирская область, г. Краснообск
Солянская сельскохозяйственная опытная станция	Красноярский край, Рыбинский район
Красноярский НИИСХ	г. Красноярск
Бурятский НИИСХ	г. Улан-Удэ
Дальневосточный НИИСХ	г. Хабаровск
Приморский НИИСХ	Приморский край, Уссурийский район
Всероссийский научно-исследовательский институт сои	Амурская область, г.г. Благовещенск

Примечание. Названия организаций приведены так, как они даны на сайте ГСОУ.

Table 1

List of fields of Geographic Network of Experiments with Fertilizers [5]

Organization	Location
Research and Design Institute of Agroindustrial Complex of the Komi Republic	Syktuvkar
North-West Research Institute of Agriculture «Belogorka»	59.21N30.08E
Pskov Research Institute of Agriculture	Pskov
Agrophysical Institute	Saint Petersburg
Russian Research and Design Technological Institute of Organic Fertilizers and Peat	56.5 N40.05 E
Russian Research Institute of Flax	57.02 N35.01 E
Tula Research Institute of Agriculture	Plavsk, Tula region
Kostroma Research Institute of Agriculture	Kostroma
Dolgoprudnaya agrochemical experimental station	56N37E
Research Institute of Agriculture of the Central Regions of the Non-Black Earth Zone of the Russian Federation	Odintsovo, Moscow region
Russian Research Institute of Feed	Lobnya, Moscow region
Russian Research Institute of Legumes and Groats	Oryol
Central Experimental Station VIUA	55.30N37.36E
Moscow Timiryazev Agricultural Academy	Moscow, 56.0N37.5E
Smolensk Research Institute of Agriculture	54.48N31.53E

Continued Table 1

Organization	Location
Novozybkovskaya experimental station	52.31N51.31 E
Mordovian Research Institute of Agriculture	Saransk
North-Eastern Scientific and Methodological Center of the Russian Academy of Agricultural Sciences	58.5N49.5E
Nizhny Novgorod Scientific Research and Design Technological Institute of Agroindustrial Complex	Nizhny Novgorod
Nizhny Novgorod State Agricultural Academy	Nizhny Novgorod
Belgorod Research Institute of Agriculture	Belgorod
Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar	51.53 N39.18E
Voronezh State Agricultural University	51.60 N39.2E
Kursk Research Institute of Agroindustrial Production	52N37E
Tambov Research Institute of Agriculture	52,1N42E
Russian Research Institute of Agriculture and Soil Erosion Protection	Kursk
Research Institute of Agriculture of the Central Black Earth Belt	51N40.40E
Michurinsk State Agricultural Academy	52.5N40.5E
Kazan State Agricultural Academy	Kazan
Research Institute of Agriculture of the South-East	51.35 N45.59E
Russian Research Institute of Irrigated Agriculture	48.40N44.30E
Samara State Agricultural Academy	Kinel
Nizhne-Volzhsky Research Institute of Agriculture	49N44.3E
Samara Research Institute of Agriculture	52.59N49.25E
Penza State Agricultural Academy	Penza
Volga Research Institute of Breeding and Seed Production	Kinel, Samara region
Krasnodar Research Institute of Agriculture	45,5N39 E
Donskoy Zonal Research Institute of Agriculture	47.4N40.1E
Russian Research Institute of Rice	Krasnodar
North Caucasian Research Institute of Mining and Piedmont Agriculture	North Ossetia, Prigorodny District
North Caucasian Zonal Research Institute of Horticulture and Viticulture	Krasnodar
Kabardino-Balkarian Research Institute of Agriculture	Nalchik
Stavropol Research Institute of Agriculture	Stavropol Territory, Shpakovsky District
Gorsky State Agricultural University	North Ossetia, Vladikavkaz
Stavropol State Agricultural Academy	Stavropol
North Caucasian Experimental Station VIM	Armavir
Bashkir Research Institute of Agriculture and Selection of Field Crops	Ufa
Perm Research Institute of Agriculture	58.5N56.5E
Chelyabinsk Research Institute of Agriculture	54.56N60.44E
Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals	Tyumen
Udmurt Research Institute of Agriculture	Udmurt Republic, Zavyalovsky district
Izhevsk State Agricultural Academy	Izhevsk
Ural Research Institute of Agriculture	Yekaterinburg
Solikamsk Agricultural Experimental Station	Perm region, Solikamsk district
Shadrinskaya Agricultural Experimental Station	Kurgan region, Shadrinsky district
Siberian Research Institute of Agriculture	Omsk
Altai State Agrarian University	Barnaul
Narym State Breeding Station	Tomsk region, Kolpashevo

Ending Table 1

Organization	Location
Altai Research Institute of Agriculture and Selection of Agricultural Crops	Barnaul
Siberian Research and Design Technological Institute of Animal Husbandry	Novosibirsk region, Krasnoobsk
Siberian Research Institute of Agriculture and Chemicalization	Novosibirsk region, Krasnoobsk
Solyansk Agricultural Experiment Station	Krasnoyarsk Territory, Rybinsky District
Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture	Krasnoyarsk
Buryat Research Institute of Agriculture	Ulan-Ude
Far Eastern Research Institute of Agriculture	Khabarovsk
Primorsky Research Institute of Agriculture	Primorsky Territory, Ussuriysky District
Russian Research Institute of Soybeans	Amur Region, Blagoveshchensk

Note. The names of the organizations are given as they are given on the GNFE website.

География опытных участков ГСОУ базируется на специально созданной Д.Н. Прянишниковым в 1924 г. почвенно-агрономической карте [4, 13].

На тестовых полях ГСОУ, принадлежащих сельскохозяйственным НИИ, региональным университетам и опытным станциям, проводятся многолетние опыты по использованию разных видов удобрений под основные сельскохозяйственные культуры, возделываемые в регионе.

ЕГРПР использовался в качестве основы для проведения анализа оптимальности размещения опытных полей ГСОУ [12]. Считалось, что в идеале опытные поля должны характеризовать каждую почву, внесенную в ЕГРПР и используемую в качестве пашни. Информация о вовлеченности почв ЕГРПР в распашку была получена с карты распаханности почв России [14].

Координаты опытных полей были предварительно установлены или уточнены с использованием интернет-сервиса GoogleMaps™. После этого точки опытных полей были наложены на почвенно-географические выделы ЕГРПР и для каждой из них была считана атрибутивная информация реестра.

Если точка опытных полей попадала на почву ЕГРПР, то эта почва считалась охарактеризованной хоть одной из точек ГСОУ. Если на пахотную почву ЕГРПР не попадало ни одной точки ГСОУ, то почва относилась к неохарактеризованной и нуждающейся в размещении на ней хоть одной точки ГСОУ.

Далее в ГИС были построены карта земель, почвы которых охарактеризованы хотя бы одной точкой ГСОУ, и карта пахотных земель, почвы которых не охарактеризованы ни одной из существующих точек ГСОУ. Принимались во внимание лишь почвы, доля которых на пашне России превышает 0,1 %.

Результаты и обсуждение

Выделы ЕГРПР в контексте статьи мы рассматриваем в качестве почвенного районирования, которое и должно быть использовано в качестве основы для размещения опытных полей ГСОУ. Это связано со следующими причинами.

Районирование, которое использовалось Д.Н. Прянишниковым, сильно устарело. После него было создано много почвенных региональных и государственных

карт, было накоплено много знаний о географии почв России и их отзывчивости на удобрения, которых при заложении сети не было в наличии. В качестве основы для оптимального размещения или коррекции сети теоретически могли бы быть использованы Государственная почвенная карта СССР (масштаб 1: 1 млн) (ГПК) [15], природно-сельскохозяйственное районирование СССР (масштаб 1: 8 млн) [16], почвенная карта России для высшей школы (масштаб 1:4 млн) [17].

На настоящий момент работа над ГПК так и не завершена, а первые листы, которые создавались более 70 лет назад,— устарели. Природно-сельскохозяйственное районирование СССР также было создано уже более 50 лет назад. Его выделы обусловлены не только почвенными, но и климатическими параметрами, которые также давно нуждаются в обновлении и поэтому не могут быть использованы в качестве надежной основы для оптимизации размещения ГСОУ. Почвенная карта России для высшей школы была создана около 30 лет назад, и ее предназначение (обучение студентов) предопределило ее достаточную схематичность.

Преимуществом ЕГРПР перед вышеназванными картами заключается в том, что этот документ аккумулировал в себе всю информацию о почвах России, включая данные перечисленных выше карт и данные, накопленные за последние годы. ЕГРПР утвержден Минсельхозом России в 2014 г. в качестве базового документа для характеристики почв страны и рекомендован для практического использования. ЕГРПР построен на основе современных компьютерных технологий (геоинформационных баз данных) и полностью совместим с аналогичными зарубежными депозитариями почвенных знаний [18], что значительно облегчает цифровой анализ ЕГРПР совместно с другими пространственными данными, а также трансфер технологий.

Именно поэтому ЕГРПР был выбран нами как основа для анализа оптимальности размещения ГСОУ с точки зрения почвенных ресурсов.

Если принять, что присутствие в выделе какой-либо пахотной почвы ЕГРПР хотя бы одной из точек ГСОУ предопределяет то, что результаты, полученные на опытных полях этой точки, можно распространить на такие же почвы в России, то получается картина охарактеризованности почв ЕГРПР данными ГСОУ, или репрезентативности опытных полей ГСОУ с точки зрения почв, приведенная на рис. 2.

Согласно полученным данным, существующая сеть ГСОУ репрезентативна для 42 % пашни России. Пахотные почвы, на которые распространение результатов, получаемых на ГСОУ, некорректно с почвенной точки зрения, показаны на рис. 2 красным цветом. Из рис. 2 следует, что больше всего почв, на которые результаты опытов ГСОУ не могут быть распространены, находится на пашне Западной Сибири, Дальнего Востока и сухостепных регионов России.

На основе этой информации, а также сведений о географии почв, не охарактеризованных ГСОУ, предложена сеть дополнительных опытных полей, которые в перспективе должны пополнить существующую сеть, чтобы обеспечить их практически полную репрезентативность с точки зрения почвенных ресурсов страны. Размещение дополнительных мест расположения опытных полей сети представлено на рис. 3. При размещении точек учитывалась также компактность их расположения (близость к уже существующим полям на других почвах).



Рис. 2. Репрезентативность опытных полей ГСОУ с точки зрения почвенных ресурсов пашни России: зеленый цвет – есть репрезентативные поля; красный – нет репрезентативных полей

Fig. 2. Experimental fields of the GNEF depending on soil resources of arable land in Russia: green color – representative fields; red – no representative fields

Из рис. 3 следует, что больше всего опытных полей должно быть размещено в Крыму, Волгоградской области, Алтайском и Ставропольском краях, а в многих регионах уже существующая сеть с точки зрения почв практически полностью является репрезентативной.

При использовании полученных данных, конечно же необходимо учитывать, что репрезентативность опытных полей рассматривалась лишь с позиции почв и их географии. Не принимались во внимание такие факторы, как изменения климата, или набор возделываемых культур. Анализировалась лишь репрезентативность полей ГСОУ с точки зрения охвата ими всего разнообразия пахотных почв страны.

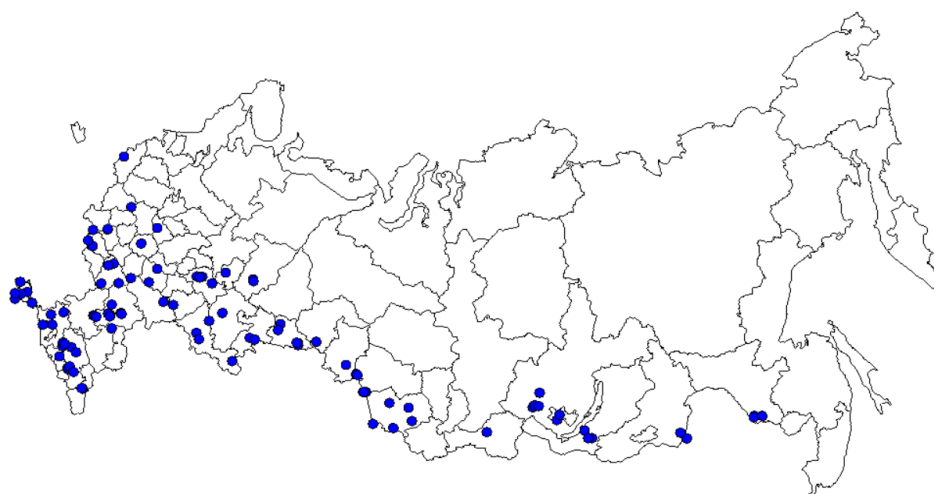


Рис. 3. Предлагаемые точки размещения дополнительных опытных полей ГСОУ

Fig. 3. Proposed placement for additional GNEF experimental fields

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что с точки зрения почвенных ресурсов, Государственная сеть опытов с удобрениями является репрезентативной лишь для 42 % пахотных угодий страны.

Для полной репрезентативности она должна быть расширена более чем на 90 точек. Только в этом случае результаты опытов сети могут быть экстраполированы практически на все пахотные почвы России.

В основу размещения новых точек ГСОУ должна быть положена информация Единого государственного реестра почвенных ресурсов России как официального документа, принятого Минсельхозом России.

Библиографический список

1. Иванов А.Л., Кирюшин В.И., Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Столбовой В.С. Анализ земельной реформы и агропромышленного производства за четверть века. Почвенно-экологические, технологические институциональные и инфраструктурные аспекты модернизации. Земельная служба (доклад). М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2016. 93 с.
2. Rothamsted Long-term Experiments (2018 – reprinted 2019) Guide To The Classical And Other Long-Term Experiments, Datasets And Sample Archive, pp. 1–58. DOI: <https://doi.org/10.23637/ROTHAMSTED-LONG-TERM-EXPERIMENTS-GUIDE-2018>
3. Macholdt J., Styczen M.E., Macdonald A.J., Piepho H.-P., Honermeier B. Long-term analysis from a cropping system perspective – Yield stability, environmental adaptability, and production risk of winter barley // *European Journal of Agronomy*. 2020. Vol. 117. P. 126056. doi: 10.1016/j.eja.2020.126056
4. Романенков В.А. Агрохимические опыты в системе исследований Геосети: прошлое, настоящее и будущее // *Известия ТСХА*. Вып. 3. 2012. С. 54–61.
5. Романенков В.А., Шевцова Л.К., Никитина Л.В. Географическая сеть опытов с удобрениями. Режим доступа: <http://www.geo-set.ru/site/52> Дата доступа: 09.06.2020.
6. Романенков В.А., Шевцова Л.К. Развитие методологии исследований по оценке динамики плодородия почв в длительных опытах Геосети // *Совершенствование организации и методологии агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями: Материалы Всероссийской научно-методической конференции Географической сети опытов с удобрениями*. М., 2006. С. 169–171.
7. Сычев В.Г., Романенков В.А. Состояние и перспективы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями // *Материалы регионального научно-методического совещания ученых-агрохимиков Географической сети опытов с удобрениями Северного Кавказа / под ред. В.Г. Минеева, В.Г. Сычева*. М.: ВНИИА, 2007. С. 14–25.
8. Сычев В.Г., Романенков В.А., Шевцова Л.К., Рухович О.В. Современные направления исследований и результаты длительных полевых опытов Геосети // *Плодородие*. 2014. № 5. С. 2–5.
9. Сычев В.Г., Романенков В.А. Основные итоги и стратегия развития Географической сети опытов с удобрениями // *Состояние и перспективы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями: Матер. межд. науч.-метод. конф. Геосети 10–11 июня 2010 г.* М.: ВНИИА, 2010. С. 3–7.
10. Сычев В.Г., Романенков В.А. Основные итоги и стратегия развития Географической сети опытов с удобрениями // *Агрохимические свойства почв и приемы их регулирования. V Сибирские Прянишниковские агрохимические чтения, 12–16 июня 2010 г.* Новосибирск, 2011. С. 24–31.
11. Романенков В.А., Шевцова Л.К. Длительные опыты геосети в современных и перспективных агрохимических и агроландшафтных исследованиях // *Агрохимия*. 2014. № 11. С. 3–14.
12. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2014. 768 с.
13. Прянишников Д.Н. К вопросу о химизации нашего земледелия: Избр. соч. Т. 4. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 503 с.

14. Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А., Шишконокова Е.А. Карта распаханности почв России // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. № 94. С. 38–56. doi:10.19047/0136–1694–2018–94–38–56
15. Конюшков Д.Е., Хохлов С.Ф., Контбойцева А.А., Савицкая Н.В. Государственная почвенная карта и ее создатели // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2015. № 81. С. 12–44. doi: 10.19047/0136–1694–2015–81–12–44
16. Гайдамака Е.И., Розов Н.Н., Шашко Д.И., Бондарчук Н.П., Булгаков Д.С., Вадковская Н.Н., Ваджов В.И., Газизов Ю.А., Глушкова М.И., Добровольский Г.В., Жуков В.М., Каменецкая Ф.Н., Карманов И.И., Колосовская В.Н., Лойко П.Ф., Назирова Б.Т., Норкина Т.Е., Носов С.И., Покровская Н.Д., Сенин А.И., Сотников В.П., Урусевская И.С., Федорин Ю.В., Фриев Т.А., Шувалов С.А., Ямпольская Е.М. Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР. М.: Колос, 1983. 336с.
17. Почвенная карта России и сопредельных государств. Масштаб 1:4 000 000 / И.П. Гаврилова, М.И. Герасимова, М.Д. Богданова (при участии Н.П. Лебедева). М.: Роскартография, 1995.
18. The European Soil Database distribution version 2.0, European Commission and the European Soil Bureau Network, CD-ROM, EUR19945 EN, 2004

References

1. Ivanov AL, Kiryushin VI, Molchanov EN, Savin IY, Stolbovoy VS. Analiz zemel'noy reformy i agropromyshlennogo proizvodstva za chetvert' veka. Pochvenno-ekologicheskiye, tekhnologicheskiye institutsional'nyye i infrastrukturnyye aspekty modernizatsii. Zemel'naya sluzhba (doklad) [Analysis of the Land Reform and Agro-Industrial Production for a Quarter of Century. Soil-ecological, technological institutional and infrastructural aspects of modernization. Land service (report)]. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute Publ.; 2016.
2. Macdonald A, Poulton P, Clark I, Scott T, Glendining M, Perryman SA, et al. Rothamsted Long-term experiments: guide to the classical and other long-term experiments, datasets and sample archive. Harpenden: Rothamsted Research; 2018. doi: 10.23637/ROTHAMSTED-LONG-TERM-EXPERIMENTS-GUIDE-2018
3. Macholdt J, Styczen ME, Macdonald AJ, Piepho HP, Honermeier B. Long-term analysis from a cropping system perspective – Yield stability, environmental adaptability, and production risk of winter barley. *European Journal of Agronomy*. 2020; 117:126056. doi: 10.1016/j.eja.2020.126056
4. Romanenkov VA. Agro-chemical experiments in geo-network research system: past, present and future. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2012; 3:54–61.
5. Romanenkov VA, Shevtsova LK. Development of methodology of researches on estimation of dynamics of fertility of soils in long-term experiments of the Geo-Network. In: *Sovershenstvovaniye organizatsii i metodologii agrokhimicheskikh issledovaniy v Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami: Materialy Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami* [Improving the organization and methodology of agrochemical research in the Geographic network of experiments with fertilizers: Materials of the All-Russian scientific and methodological conference of the Geographic network of experiments with fertilizers]. Moscow: Russian Research Institute of Agrochemistry publ.; 2006. p.169–171.
6. Sychev VG, Romanenkov VA. Condition and prospects of agrochemical research in the Geographic network of experiments with fertilizers. In: Mineyev VG, Sychev VG. (eds.) *Materialy regional'nogo nauchno-metodicheskogo soveshchaniya uchenykh-agrokhimikov Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami Severnogo Kavkaza* [Materials of the regional scientific and methodological meeting of agricultural chemists of the Geographical network of experiments with fertilizers in the North Caucasus] Moscow: VNIIA publ.; 2007. p.14–25.
7. Sychov VG, Romanenkov VA, Shevtsova LK, Rukhovich OV Modern fields of research and results in Geonetwork system of long-term experiments. *Plodorodie*. 2014; (5):2–5.
8. Sychev VG, Romanenkov VA. Main results and strategy of development of the Geographic network of experiments with fertilizers. In: *Sostoyaniye i perspektivy agrokhimicheskikh issledovaniy v Geograficheskoy seti opytov s udobreniyami* [State and prospects of agrochemical research in the Geographic Network of Experiments with Fertilizers] Moscow: VNIIA publ.; 2010. p.3–7.
9. Sychev VG, Romanenkov VA. Main results and strategy of development of the Geographic network of experiments with fertilizers. In: *Dlitel'noe primeneniye udobrenii. Agrokhimicheskie, agronomicheskie*

i ekologicheskie aspekty [Long-term use of fertilizers. Agrochemical, agronomic and environmental aspects]. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Agricultural Academy publ.; 2011. p.24–31.

10. Romanenkov VA, Shevtsova LK. Geonetwork research system of long-term field experiments in modern and advanced agrochemical and agrolandscape research. *Agrohimia*. 2014; (11):3–14.

11. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. *Yedinyy gosudarstvennyy reyestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0*. [Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0.]. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute; 2014.

12. Pryanishnikov DN. *K voprosu o khimizatsii nashego zemledeliya* [The question of chemicalization of our agriculture]. Moscow: Academy of Sciences of the USSR; 1955.

13. Savin IY, Stolbovoy VS, Avetyan SA, Shishkonakova EA. Map of plowed soils of Russia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018; (94):38–56. (In Russ.) doi: 10.19047/0136–1694–2018–94–38–56

14. Konyushkov DY, Khokhlov SF, Kontoboitseva AA, Savitskaya NV. State soil map and its creators. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2015; (81):12–44. (In Russ.) doi: 10.19047/0136–1694–2015–81–12–44

15. Gaydamaka YI, Rozov NN, Shashko DI, Bondarchuk NP, Bulgakov DS, Vadkovskaya NN, et al. *Prirodno-sel'skokhozyaystvennoye rayonirovaniye i ispol'zovaniye zemel'nogo fonda SSSR* [Natural and agricultural zoning and use of the land fund of the USSR]. Moscow: Kolos publ.; 1983.

16. Gavrilova IP, Gerasimova MI, Bogdanova MD, Lebedev NP. *Pochvennaya karta Rossii i sopedel'nykh gosudarstv* [Soil map of Russia and neighboring states]. Moscow: Roskartografiya publ.; 1995.

17. The European Soil Bureau Network. *The European Soil Database Distribution Version 2.0. European Commission and the European Soil Bureau Network, CD-ROM, EUR19945 EN*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2004.

Об авторе:

Савин Игорь Юрьевич — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заместитель директора ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Российская Федерация, 109017, г. Москва, Пыжевский переулок, д. 7; профессор, Экологический факультет, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: savin_iyu@esoil.ru

ResearcherID: H-8117–2013

Scopus Author ID: 7003650252

ORCID: 0000–0002–8739–5441

About author:

Savin Igor Yurievich — Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director, Dokuchaev Soil Science Institute, 7 Pyzhevsky lane, Moscow, 109017, Russian Federation; Professor, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: savin_iyu@esoil.ru

Researcher ID: H-8117–2013

Scopus Author ID: 7003650252

ORCID: 0000–0002–8739–5441

Ветеринария Veterinary science

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-294-307
УДК 577.217.3:619:616.36–002:636.7

Научная статья / Research article

Сfa-микроРНК-122 и –21 как современные биомаркеры первичного гепатита у собак

А.М. Эль-Себаей^{1, 2*}, П.Н. Абрамов¹, С.М. Борунова¹

¹Московская государственная академия ветеринарной медицины
и биотехнологии имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация

²Университет Мансура, г. Мансура, Египет

*dr_sebaey@mans.edu.eg

Аннотация. Первичный гепатит (ПГ) является одним из наиболее часто диагностируемых заболеваний печени у собак. К его распространенными формами относятся острый гепатит (ОГ) и хронический активный гепатит (ХАГ), которые могут привести к фиброзу и циррозу. Цель исследования — оценка возможного использования полученных из гепатоцитов Canine familiaris-микроРНК (сfa-miR)-122 и 21 в качестве сывороточного биомаркера для ранней диагностики ПГ и выявления начальной стадии фиброза печени у собак с ХАГ. После ультразвукового и гистологического исследования пятнадцать здоровых собак включили в группу контроля для сравнения с тридцатью собаками, у которых было подтверждено наличие ОГ или ХАГ (n = 15). Активность ферментов печени, а также концентрация глобулина и общего билирубина были повышены в группах ОГ (P < 0,001) и ХАГ (P < 0,01), тогда как показатели общего белка, альбумина, мочевины и отношение А/Г были значительно снижены у собак с ОГ или ХАГ (P < 0,01). Сfa-miR-122 оказался достоверно выражен при ОГ (P < 0,001) и ХАГ (P < 0,01) и показал потенциальную значимость при выделении этих групп из контроля с площадью под кривой (AUC) 0,98 и 0,96 соответственно. Кроме того, сfa-miR-122 проявил значимость в дифференциации ОГ (P < 0,05) от ХАГ с AUC0,85. Сfa-miR-21 был повышен у собак с ХАГ и выражал потенциальную роль в дифференцировании этой группы (P < 0,001) от ОГ и контроля с AUC0,99 и 0,88 соответственно. Таким образом, сfa-miR-122 может быть значительно повышен у собак с ПГ тогда как сfa-miR-21 потенциально может быть экспрессирован только в хронической форме ПГ и является новым неинвазивным биомаркером для дифференциации ОГ от ХАГ.

Ключевые слова: собака, первичный гепатит, ультразвуковое исследование, биохимический анализ, гистология, сfa-микроРНК

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: Авторы имеют равноценный вклад в данной работе.

© Эль-Себаей А.М., Абрамов П.Н., Борунова С.М., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Этическое одобрение. Исследование было проведено после того, как все владельцы дали согласие на исследование животных. Правила ухода за животными и процедура проведения соблюдались в соответствии с Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых в научных целях.

Благодарности. Авторы благодарны А.А. Пушкову (ведущему научному сотруднику лаборатории молекулярной генетики и медицинской геномики ФГАУ «НМИЦ Здоровья детей») и Н.И. Колядиной (главному врачу центра здоровья и репродукции животных «КОВЧЕГ») за их помощь при проведении исследования.

История статьи:

Поступила в редакцию: 9 июля 2020 г. Принята к публикации: 5 августа 2020 г.

Для цитирования:

Эль-Себаей А.М., Абрамов П.Н., Борунова С.М. Cfa-микроРНК-122 и –21 как современные биомаркеры первичного гепатита у собак // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 294—307. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-294-307

Cfa-miRNAs-122 and –21 as modern biomarkers of primary hepatitis in dogs

Ahmed M. El-Sebaey^{1,2*}, Pavel N. Abramov¹, Seidfatima M. Borunova¹

¹Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation

²Mansoura University, Mansoura, Egypt

*Corresponding author: dr_sebaey@mans.edu.eg

Abstract. Primary hepatitis (PH) is one of the most frequently diagnosed hepatic diseases in dogs. Its popular forms are acute hepatitis (AH) and chronic active hepatitis (CAH) which can progress to hepatic fibrosis and cirrhosis. This investigation aimed to evaluate the use of hepatocyte released Canine familiaris miRNAs(cfa-miR)-122 and –21 as serum biological markers for the early and reliable diagnosis of PH and to reveal the onset of hepatic fibrosis. After the ultrasonographic and histological examination, fifteen healthy dogs were involved in the study as control group to compare with other thirty dogs confirmed to have AH or CAH (n = 15). Activity of liver enzymes as well as serum level of globulin and total bilirubin were significantly elevated in AH (P < 0.001) and CAH (P < 0.01) groups whereas, serum level of total protein, albumin, BUN and A/G ratio were significantly lowered in both PH groups (P < 0.01) compared to control. Cfa-miR-122 significantly expressed in AH (P < 0.001) and CAH (P < 0.01) and exhibited a potential significance in distinguishing these groups from control with an area under the curve (AUC) of 0.98 and 0.96, respectively. Additionally, cfa-miR-122 displayed a potential role in distinguishing AH (P < 0.05) from CAH group with an AUC of 0.85. Cfa-miR-21 was only expressed in dogs of CAH group and displayed a potential role in distinguishing this group (P < 0.001) from AH and healthy groups with an AUC of 0.99 and 0.88, respectively. Therefore, cfa-miR-122 can be significantly expressed in dogs with two forms of PH whereas, cfa-miR-21 could be potentially enhanced only in chronic form of PH and may act as new non-invasive biomarker for distinguishing AH from CAH.

Keywords: dogs, primary hepatitis, ultrasonography, biochemical analysis, histology, cfa-miRNAs

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Author contributions

All authors have contributed equally.

Ethics approval

The research was conducted after all owners agreed to study the animals. All animal procedures were performed in accordance with the Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

Acknowledgments

The authors acknowledge A.A. Pushkov (leading researcher, laboratory of Molecular Genetics and Medical Genomics, National Medical Research Center of Children's Health) and N.I. Kolyadina (chief physician, Kovcheg Center for Animal Health and Reproduction) for assistance in the research.

Article history:

Received: 9 July 2020. Accepted: 5 August 2020

For citation:

El-Sebaey AM, Abramov PN, Borunova SM. Cfa-miRNAs-122 and -21 as modern biomarkers of primary hepatitis in dogs. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3):294—307. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-294-307

Введение

Первичный гепатит (ПГ) — одно из наиболее часто диагностируемых паренхиматозных заболеваний печени у собак, и к его наиболее часто определяемым формам относятся острый идиопатический и хронический гепатоцеллюлярный апоптоз или некроз с высокой распространенностью хронической формы, для которой фиброз печени является определяющим [1, 2]. Часто первичные гепатопатии являются причиной заболеваемости и летальности среди различных пород собак, включая лабрадор ретривера, английского кокер спаниеля, доберман пинчера, шотландского терьера и бедлингтон терьера [3].

Клинические признаки обычно не информативны в большинстве случаев с первичным гепатитом, за исключением фиброза или цирроза печени на конечной стадии. Неинвазивные стандартные биомаркеры печени объективны для диагностики и мониторинга печеночных некровоспалительных изменений при остром и хроническом гепатите, однако при ней невозможно выявить раннее отложение компонентов фибриллярного внеклеточного матрикса (коллагены типа I и типа III) и прогрессирующее рубцевание печени в связи с гепатоцеллюлярным повреждением или воспалением [4, 5].

С другой стороны, ультразвуковое исследование (УЗИ) брюшной полости не является точным инструментом для распознавания или дифференциации различных легких форм первичного гепатита и эффективно только на поздних стадиях заболевания [6], следовательно, гистологическое исследование печени в настоящее время является единственным средством диагностики степени поражения печени, но, несмотря на это, не может использоваться регулярно, поскольку является инвазивным и дорогостоящим [7]. Таким образом, выявление неинвазивных сывороточных биомаркеров, которые могут точно диагностировать степень воспалительной активности печени и фиброза на ранней стадии, необходимо в ранней дифференции острого и хронического активного гепатита.

Зрелые микроРНК (miR, класс эндогенных некодирующих РНК длиной приблизительно 19...25 нуклеотидов) выступают в качестве центрального регулятора молекулярных механизмов, участвующих в различных патологиях печени. В настоящее время их применяют в качестве диагностического критерия при различных заболеваниях [8]. В этом контексте, cfa-miR-122 считают одной из самых распространенных микроРНК в гепатоцитах (почти 70% от общей экспрессии печеночной микроРНК), что делает его потенциально идеальным биомаркером при различных повреждениях печени [9, 10]. Также установлено, что cfa-miR-21 имеет значение в регуляции экспрессии посттранскрипционных генов, связанных с патофизиологией повреждения печени, активацией непаренхимных клеток, включая печеночные звездчатые клетки (HSC), клетки-предшественники печени и макрофаги, приводя к фиброзу [10, 11].

Целью исследования — оценка возможного использования cfa-miR-122 и 21, полученных из гепатоцитов, в качестве неинвазивного стабильного биомаркера для ранней диагностики ПГ и отражения степени фиброза печени, связанного с ХАГ у собак.

Материалы и методы исследования

Животные и дизайн исследования. Настоящее исследование проводилось на кафедре диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных и в Инновационном ветеринарном центре Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии (ИВЦ МВА). Гематологические исследования проведены в лаборатории ветеринарной клиники «КОВЧЕГ»; гистологические исследования — в ветеринарном центре патоморфологии и лабораторной диагностики доктора Н.В. Митрохиной; исследования микроРНК — в лаборатории молекулярной генетики и медицинской геномики ФГАУ «НМИЦ Здоровья детей». Все исследования проводили в период с сентября 2018 г. по октябрь 2019 г. У тридцати животных с клиническими признаками первичного гепатита, а также повышенным уровнем ферментов печени, аномальной печеночной экзогенностью, установленной при ультразвуковом исследовании (Mindray DC-8 Expert®, преобразователь 6,5...8 МГц, Китай) гистологически подтверждалась некровоспалительная активность печени или фиброз. На основании гистологических данных выделенные животные были разделены на две равные группы. В первую группу входили собаки с острым гепатитом (ОГ), а во вторую с хроническим активным гепатитом (ХАГ). Для сравнения пятнадцать здоровых животных с показателями крови, не выходящими за референсные значения, и вместе с тем, по данным ультразвукового исследования, не измененной структурой органа, служили контролем.

Сбор и обработка образцов. Взятия крови проводили из яремной вены от каждого животного в обычную пробирку (Vacuette® Greiner Bio-One, Германия), после чего образцы оставляли в холодильнике на 15 мин для максимального отведения сгустка. Сыворотку получали центрифугированием при 3000 об / мин в течение 10 мин при 20 °С на центрифуге CM-6M Sky Line (ELMI®, Латвия). Отделенная сыворотка распределялась на два образца, первый из которых использовали для биохимического анализа, а второй консервировали при –80 °С до анализа на микроРНК. Биопсию печени проводили у каждого животного под контролем УЗИ с использованием полуавтоматической иглы (spring cut®, Sterylab, Италия).

Полученный материал фиксировали в 10 % забуференном формалине для гистологического исследования.

Анализ биохимических показателей сыворотки. Сывороточную активность аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ), щелочной фосфатазы (ЩФ) и гамм-глутамилтрансферазы (ГГТ), а также амилазу и липазу в дополнение к уровню общего белка (О. Белок), альбумин, глобулин, отношение альбумин/глобулин (А/Г), общий билирубин (О. Билирубин), мочевины, креатинин и глюкозу исследовали с помощью наборов Catalyst NSAID6 Clip® и Chem 17Clip® (IDEXX Laboratories®, США) на биохимическом анализаторе (Catalyst One®; IDEXX Laboratories, США).

Гистологические исследования. Полученные при биопсии образцы заливали в парафин (Paraplast plus®, США). Срезы толщиной 4 мкм окрашивали гематоксилином и эозином (Ги Э, кат. № RRSK26; Atom Scientific®, Великобритания) [9, 11]. Волокна соединительной ткани (коллаген I и III типа) определяли по Picosirius red (кат. № KT037; Diagnostic Bio Systems®, Нидерланды). Гистологическая оценка проводилась в соответствии со стандартами WSAVA с помощью микроскопа Микмед-5® («ЛОМО», Россия).

Выделение РНК. Общая РНК, включая микроРНК, была выделена из каждого образца с использованием реагента для лизиса (QIAzol®) в составе набора для сыворотки / плазмы miRNeasy (кат. № 217184 Qiagen®, Германия) в соответствии с предписаниями производителя. Кроме того, во время стадии выделения 3,5 мкл синтетического *Caenorhabditis elegans* miR-39 (cel-miR-39, кат. № 219610, Qiagen®, Германия) добавляли при $1,6 \times 10^8$ копий/мкл рабочего раствора в качестве контроля выброса для каждого денатурированного образца сыворотки с целью оценки эффективности выделения РНК [10]. Концентрацию и чистоту выделенных образцов РНК определяли с помощью Nano photometer® (NP80, Германия) при оптической плотности 260 и 280 нм; образцы, отношение поглощения РНК (A260: A280) в которых было равно 1,6 и более, исследовали далее [13].

Обратная транскрипция и количественная оценка микроРНК с помощью полимеразной цепной реакции в реальном времени (ОТ-ПЦР). Выделенные образцы РНК подвергали обратной транскрипции с использованием набора miScript II RT (кат. № 218160, Qiagen®, Германия) для получения комплементарной ДНК в соответствии с инструкциями производителя. После этого для определения относительной экспрессии выбранных эндогенных микроРНК и экзогенного cel-miR-39 была проведена ОТ-ПЦР в системе обнаружения ПЦР в реальном времени CFX-96® (Bio-Rad, США) с использованием набора miScript SYBR Green для ПЦР (Кат. № 218073 Qiagen®, Германия) в соответствии с miScript-PCR-System справочником. Условия реакции амплификации ПЦР были следующими: 1 цикл-начальной денатурации при 95 °С в течение 15 мин и 45 циклов 3-этапной ПЦР, включая: 15 с денатурации при 94 °С, отжиг при 55 °С в течение 30 с и затем удлинение в течение 30 с при 70 °С. Все исследования проводили в трех последовательностях для каждого образца, и средний пороговый цикл Ct был оценен и использован в последующем. Полученные из ПЦР значения Ct каждой эндогенной cfa-микроРНК были нормализованы против cfa-miR-16 в качестве эндогенного эталонного гена (из-за их относительно стабильной экспрессии) и cel-miR-39 в качестве экзогенного синтетического эталонного гена (добавлено во время выделения РНК), $\Delta Ct = Ct$ микроРНК — $0,5 \times (Ct \text{ cel-miR-39} + Ct \text{ miR-16})$ [10]. Все данные были относительно выражены как кратное изменение по сравнению с контролем с использованием

сравнительного метода Ct ($2^{-\Delta\Delta Ct}$ метод) [14]. Специфические прямые праймеры к интересующим cfa-микроРНК, а также эндогенному эталонному гену были разработаны и синтезированы компанией «Евроген» (Москва, Россия). Как показано в табл. 1, специфический прямой праймер cel-miR-39 и универсальный обратный праймер были включены в наборы (Qiagen®). Оба эталонных гена не были включены в статистический анализ, а использовались только для нормализации данных.

Таблица 1

Зрелые последовательности и специфические прямые праймеры сыворотки микроРНК

Имя гена	Номер доступа	Зрелая последовательность 5'–3'	Последовательность праймеров 5'–3'
cfa-miR-122–5p	MIMAT0006619	UGGAGUGUGACAAUGGUGUUUG	CAAACACCATTGTCACACTCCA
cfa-miR-21–5p	MIMAT0006741	UAGCUUAUCAGACUGAUGUUGA	TCAACATCAGTCTGATAAGCTA
cfa-miR-16–5p	MIMAT0006648	UAGCAGCACGUAAAUAUUGGCG	CGCCAATATTTACGTGCTGCTA

Table 1

Mature sequences and specific forward primers for serum cfa-miRNA

Gene	Access number	Mature sequence 5'- 3'	Primer sequence 5'- 3'
cfa-miR-122–5p	MIMAT0006619	UGGAGUGUGACAAUGGUGUUUG	CAAACACCATTGTCACACTCCA
cfa-miR-21–5p	MIMAT0006741	UAGCUUAUCAGACUGAUGUUGA	TCAACATCAGTCTGATAAGCTA
cfa-miR-16–5p	MIMAT0006648	UAGCAGCACGUAAAUAUUGGCG	CGCCAATATTTACGTGCTGCTA

Статистический анализ. Данные были статистически проанализированы с использованием SPSS версии 20.0 (IBM Corp., США). Расчетные непрерывные переменные включали: возраст, массу тела, биохимические показатели, экспрессию cfa-микроРНК в сыворотке, категориальные переменные включали в себя породу и пол. Тест Шапиро-Вилка подтверждал распределение нормальности всех непрерывных переменных ($P > 0,05$), за исключением экспрессии cfa-микроРНК ($P < 0,05$). Среднее \pm стандартное отклонения (SD) были получены для объяснения нормально распределенных переменных, в то время как значимые различия между исследуемыми группами оценивались путем выполнения одностороннего ANOVA с поправкой Бонферрони. Медиана и размах использовались для выявления уровней экспрессии cfa-микроРНК, а значимость различий между группами оценивалась с помощью теста Крускала — Уоллиса с поправкой Бонферрони. После этого диагностическое значение cfa-микроРНК для различия между группами первичного гепатита и контрольной группой было выявлено путем расчета площади под кривой ошибок (AUC-ROC) и предельного значения для оценки оптимального процента чувствительности и специфичности. Для всех показателей значимость была установлена на уровне $P < 0,05$ [10, 15].

Результаты

Исследование животных обеих опытных групп с признаками первичного гепатита показало, что чаще заболевание наблюдается у самок собак лабрадор-ретривера

и русского той-терьера, при этом заболевание характеризуется неспецифическими клиническими признаками (прерывистая рвота, депрессия и анорексия) при значительно более высоком среднем возрасте ($P < 0,001$) и низкой средней массе тела ($P < 0,05$) по сравнению с контрольной группой (табл. 2).

Таблица 2

Показатели массы тела и возраста у животных у контрольной и опытных групп

Переменные	Группы		
	Контроль n = 15	ОГ n = 15	ХАГ n = 15
Порода (№)			
Русский той-терьер	(5)	(5)	(4)
Лабрадор ретривер	(6)	(9)	(10)
Йоркширский терьер	(1)	(1)	(0)
Доберман пинчеры	(3)	(0)	(1)
Пол (№)	Самка (8), Самец (7)	Самка (11), Самец (4)	Самка (13), Самец (2)
Возраст, лет, Среднее \pm SD	5,35 \pm 1,41	8,65 \pm 1,18***	9,30 \pm 1,03***
Масса тела, кг, Среднее \pm SD	6,20 \pm 1,55	5,88 \pm 1,43*	5,76 \pm 1,29*

* $P < 0,05$, *** $P < 0,001$ между группами

Table 2

Body weight and age of animals from the control and experimental groups

Parameter	Groups		
	Control n = 15	AH n = 15	CAH n = 15
Breed (No)			
Russian Toy Terrier	(5)	(5)	(4)
Labrador retriever	(6)	(9)	(10)
Yorkshire Terrier	(1)	(1)	(0)
Doberman Pinscher	(3)	(0)	(1)
Sex (No)	Female (8), Male (7)	Female (11), Male (4)	Female (13), Male (2)
Age, years, Mean \pm SD	5.35 \pm 1.41	8.65 \pm 1.18***	9.30 \pm 1.03***
Weight, kg, Mean \pm SD	6.20 \pm 1.55	5.88 \pm 1.43*	5.76 \pm 1.29*

* $P < 0.05$, *** $P < 0.001$ significance difference between groups

Биохимические результаты. Анализ табл. 3 показал, что сывороточная активность ферментов печени (АЛТ, АСТ, ЩФ и ГГТ), а также концентрация глобулина и О. Билирубина были значительно повышены у собак с ОГ ($P < 0,001$) и ХАГ ($P < 0,01$) по сравнению с контрольной группой. показатели общего белка, альбумина, мочевины отношение А/Г были достоверно снижены у животных групп ОГ или ХАГ ($P < 0,01$) по сравнению с контролем, тогда как концентрация глюкозы, креатинина, липазы и амилазы не имела различий во всех наблюдаемых группах, что может указывать на отсутствие патологии поджелудочной железы и почек.

Биохимические показатели сыворотки животных контрольной и опытных групп

Переменные	Группы		
	Контроль	ОГ	ХАГ
АЛТ, ед/л	45,43 ± 6,24	121,23 ± 21,37***	91,75 ± 11,32**
АСТ, ед/л	38,74 ± 3,41	75,69 ± 5,97***	61,47 ± 4,21**
ЩФ, ед/л	69,90 ± 4,15	108,90 ± 13,28***	94,54 ± 9,37**
ГГТ, ед/л	6,73 ± 0,51	9,67 ± 0,78***	8,45 ± 0,76**
О. Белок, г/дл	6,05 ± 0,61	4,98 ± 0,33**	4,85 ± 0,42**
Альбумин, г/дл	3,38 ± 0,27	1,89 ± 0,22**	1,87 ± 0,25**
Глобулина, мкмоль/л	2,66 ± 0,53	3,10 ± 0,31***	2,98 ± 0,43**
А / Г	1,32 ± 0,29	0,63 ± 0,11**	0,61 ± 0,13**
О. Билирубин, мкмоль/л	4,07 ± 0,42	5,53 ± 0,32***	5,04 ± 0,48**
Мочевина, мкмоль/л	5,71 ± 0,52	4,72 ± 0,57**	4,48 ± 0,44**
Глюкоза, мг/дл	4,10 ± 0,53	4,16 ± 0,39	4,13 ± 0,23
Креатинин, мкмоль/л	38,92 ± 2,91	40,11 ± 4,22	42,71 ± 3,73
Липазы, ед/л	118,92 ± 7,14	121,33 ± 8,67	120,08 ± 9,13
Амилаза, ед/л	168,32 ± 13,14	163,02 ± 10,45	165,06 ± 10,69

P < 0,01, *P < 0,001 между группами

Table 3

Serum biochemical parameters of animals from the control and experimental groups

Parameter	Groups		
	Control	AH	CAH
ALT, units/l	45.43 ± 6.24	121.23 ± 21.37***	91.75 ± 11.32**
AST, units/l	38.74 ± 3.41	75.69 ± 5.97***	61.47 ± 4.21**
ALP, units/l	69.90 ± 4.15	108.90 ± 13.28***	94.54 ± 9.37**
GGT, units/l	6.73 ± 0.51	9.67 ± 0.78***	8.45 ± 0.76**
Total Protein, g / dl	6.05 ± 0.61	4.98 ± 0.33**	4.85 ± 0.42**
Albumin, g/dl	3.38 ± 0.27	1.89 ± 0.22**	1.87 ± 0.25**
Globulin, μmol/l	2.66 ± 0.53	3.10 ± 0.31***	2.98 ± 0.43**
A / G	1.32 ± 0.29	0.63 ± 0.11**	0.61 ± 0.13**
Total. Bilirubin, μmol/l	4.07 ± 0.42	5.53 ± 0.32***	5.04 ± 0.48**
Urea, μmol/l	5.71 ± 0.52	4.72 ± 0.57**	4.48 ± 0.44**
Glucose, mg/dl	4.10 ± 0.53	4.16 ± 0.39	4.13 ± 0.23
Creatinine, μmol/l	38.92 ± 2.91	40.11 ± 4.22	42.71 ± 3.73
Lipases, units/l	118.92 ± 7.14	121.33 ± 8.67	120.08 ± 9.13
Amylase, units/l	168.32 ± 13.14	163.02 ± 10.45	165.06 ± 10.69

P < 0.01, *P < 0.001 significance difference between groups

Ультразвуковое исследование брюшной полости. Нормальная эхоструктура печени наблюдалась у собак с ОГ (n = 5) и ХАГ (n = 4), а также у животных контрольной группой (n = 12). Гипоэхогенность паренхимы печени вместе с дилатацией кровеносных сосудов печени наблюдалась у десяти животных (n = 10) в группе ОГ. У остальных животных с ХАГ (n = 11) была определена комбинация гипо- и гиперэхогенности паренхимы печени и утолщение стенок желчного пузыря (рис. 1).



Рис. 1. Результаты ультразвукового исследования: а – печеночная паренхима с нормальной эхогенностью; б – острый гепатит: снижение печеночной паренхиматозной эхогенности с появлением «звездного неба». Стенки воротной вены более выражены (стрелка); в – хронический активный гепатит: сочетание гипо- и гиперэхогенности (круг), снижение визуализации кровеносных сосудов печени и утолщение стенок желчного пузыря (стрелка)

Fig. 1. Ultrasound results: а – hepatic parenchyma with normal echogenicity; б – Acute hepatitis: reduced hepatic parenchymal echogenicity with «starry sky» appearance and the portal vein walls appeared more prominent (arrow); в – Chronic active hepatitis: a combination of hypo and hyper echogenicity (circle), reduced visualization of hepatic blood vessels, and gallbladder wall thickening (arrow)

Результаты гистологического исследования. Анализ образцов печени, полученных от контрольной группы, выявил нормальную гистологическую архитектуру паренхимы, в то время как в группе ОГ были определены гепатоцеллюлярный некроз и апоптоз с преимущественной инфильтрацией нейтрофильных клеток. Кроме того, у собак с ХАГ была выявлена некрвоспалительная активность и смешанная инфильтрация воспалительных клеток (лимфоциты и плазматические клетки) в области портала и паренхимы вместе с заживлением дегенерированных гепатоцитов в некоторых областях путем отложения фиброзной ткани, которая идентифицирована как красный окрашенный фибриллярный коллаген (типы I и III) по красному пятну Picrosirius red (рис. 2).

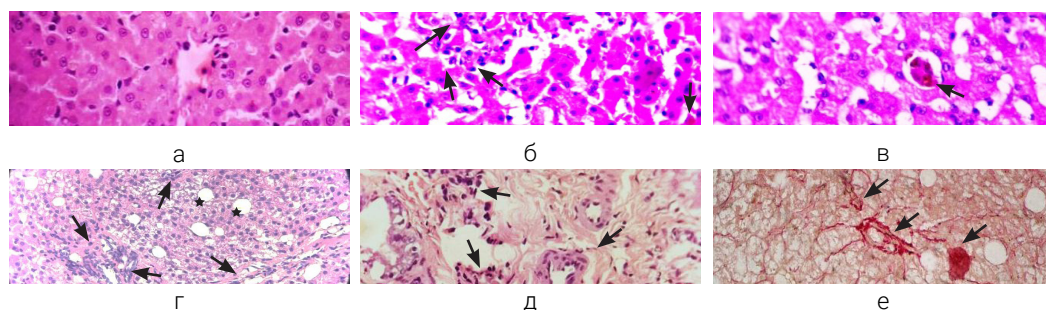


Рис. 2. Гистологические исследования: а – здоровые животные: нормальная печеночная паренхима с сохраненной долевой структурой; б, в – острый гепатит: диффузный гепатоцеллюлярный апоптоз, некроз вместе с нейтрофильной инфильтрацией (б, стрелки), а также апоптотический гепатоцит (наконечник стрелки); г – е – хронический активный гепатит: частичный некроз гепатоцитов, умеренная инфильтрация мононуклеарных воспалительных клеток (наконечник стрелки), гиперпластическая итоклетка (звездочки), и связан с резидентными фибробластами печени и прецирротическим отложением интерстициальной и портальной фиброколлагеновой ткани (г, д, стрелки), которые идентифицированы как коллагеновые волокна (типы I и III) (е, стрелки)

Fig. 2. Histological inspection: а – Healthy animals: normal hepatic parenchyma with preserved lobular structure; б, в – Acute hepatitis: diffuse hepatocellular apoptosis, necrosis together with neutrophils infiltration (б, arrows) as well as apoptotic hepatocyte (arrow head); г – е – Chronic active hepatitis: piecemeal necrosis of hepatocytes, moderate infiltration of mononuclear inflammatory cell (arrow head), hyperplastic Ito cell (asterisks), and is associated with liver resident fibroblasts and pre-cirrotic deposition of interstitial and portal fibrocollagenous tissue (г, д, arrows) that identified as collagen fibers (types I and III) (е, arrows)

Профиль экспрессии гепатоцитов полученных сfa-микроРНК. Как показано на рис. 3, а сfa-miR-122 был значительно экспрессирован в сыворотке собак с ОГ (изменение медианного сгиба — 9,48) по сравнению с ХАГ ($P < 0,05$) и контрольной группой ($P < 0,001$) сfa-miR-122 был значительно экспрессирован в сыворотке собак с ХАГ (изменение среднего сгиба — 4,94, $P < 0,01$) по отношению к контролю. Как показано на рис. 3, б сfa-miR-21 сверхэкспрессирован только в сыворотке собак с ХАГ (изменение среднего сгиба — 10,57, $P < 0,001$) по сравнению с ОГ и контрольной группой.

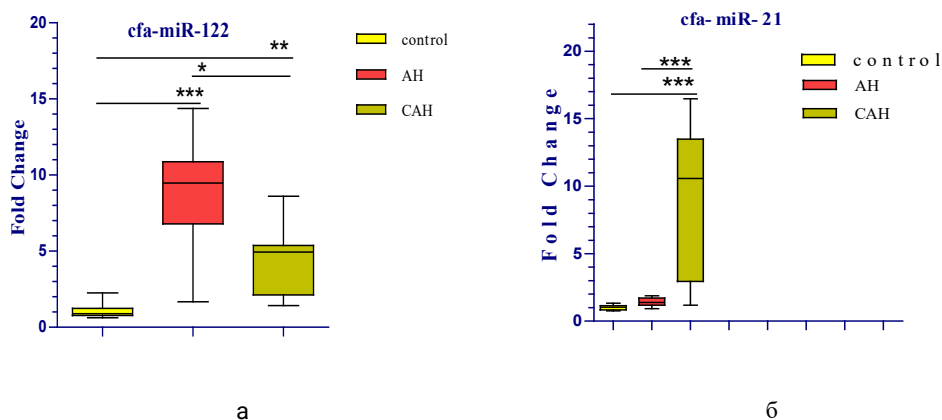


Рис. 3. Сравнение уровня экспрессии сfa-miR-122 (а) и сfa-miR-21 (б) в сыворотке крови собак. Fold change (изменение среднего сгиба), control (контроль), АН (ОГ), САН (ХАГ).
* $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$ между группами

Fig. 3. Comparison of expression level of сfa-miR-122 [а] and сfa-miR-21 [б] in serum of dogs.
* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ significant differences between groups

Анализ кривой ROC дифференциально экспрессированных сfa-микроРНК. Анализ кривой ROC показал, что сfa-miR-122 можно использовать в качестве нового диагностического биомаркера для дифференциальной диагностики ОГ и ХАГ от контрольной группы, где AUC был 0,98 (95% CI 0,95...1,0, $P < 0,0001$) для ОГ и 0,96 (95% CI 0,90...1,0, $P < 0,001$) для ХАГ, с высокой чувствительностью и специфичностью 91,7 и 91,7% при срезе 1,79, 83,3 и 91,7% при срезе 1,64 соответственно (рис. 4, а, в). Более того, при AUC 0,85 (95% CI 0,68...1,0, $P < 0,01$) сfa-miR-122 проявил потенциальную роль в дифференцировании ОГ от группы ХАГ с чувствительностью 83,3 и специфичностью 91,7 при срезе 6,46 (рис. 4, б). С другой стороны, сывороточный сfa-miR-21 с AUC 0,99 (95% CI 0,95...1,0, $P < 0,0001$) и 0,88 (95% CI 0,73...1,0, $P < 0,01$) показал потенциальную роль в дифференциации группы ХАГ от контрольной и от группы с ОГ соответственно (рис. 4, в и г), где оптимальная чувствительность и специфичность были 83,3 и 100% при срезе 1,51, 85 и 91,7% при срезе 1,84 соответственно.

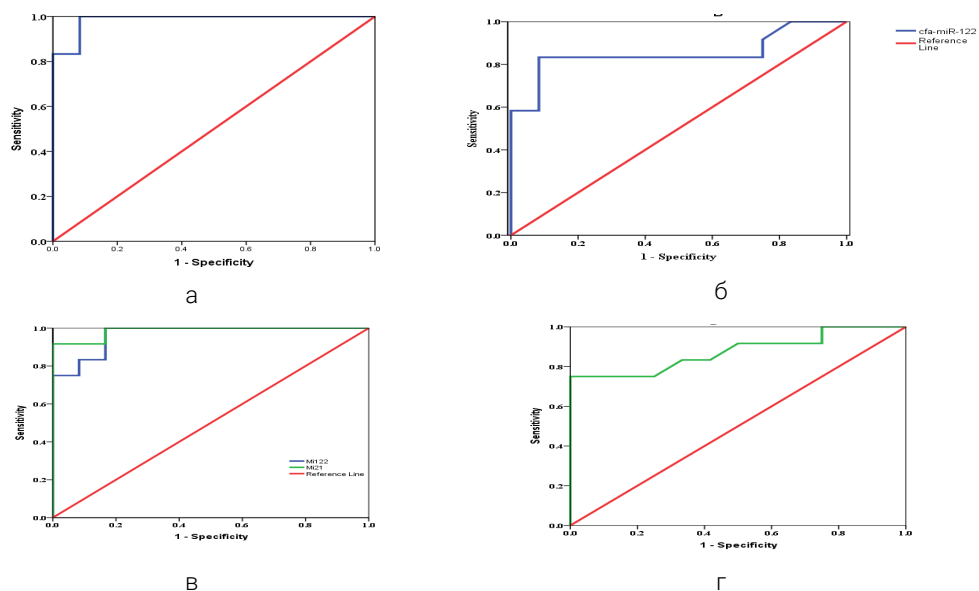


Рис. 4. Анализ ROC кривой cfa-miR-122 между ОГ и контрольной группой (а), а также группа ОГ и ХАГ (б). Анализ кривой ROC cfa-miR-122 и 21 между ХАГ и контрольной группой (в). Анализ кривой ROC cfa-miR-21 между ХАГ и ОГ (г). Sensitivity – чувствительность; 1 – specificity – специфичность

Fig. 4. ROC curve analysis of cfa-miR-122 among AH and the control group [a] as well as AH and CAH group [б]. ROC curve of cfa-miR-122 and 21 among CAH and the control group [в]. ROC curve analysis of cfa-miR-21 among CAH and AH group [г]

Обсуждение

Проведенные нами исследования показали, что по возрасту и массе тела у наблюдаемых животных полученный результат согласуется с данными [1, 7, 16]. При этом отмечено, что обе изучаемые формы первичного гепатита более ярко выражены у взрослых особей породы лабрадор ретривер и русский той-терьер, что связано с породоспецифическими особенностями метаболизма. У исследованных животных наблюдались неспецифические клинические признаки, включая рвоту и анорексию, которые возможно связаны с более низкой способностью печени выводить токсины, влияющие на рвотные хеморецепторы, что влечет за собой потерю питательных веществ и снижение массы тела у собак с ОГ и ХАГ по сравнению с контролем.

Ультразвуковое исследование позволило установить почечную недостаточность у большинства собак группы ОГ, что может быть связано с застойными явлениями в печени из-за некровоспалительной активности [6, 16, 17]. Однако у большинства животных с ХАГ, УЗИ показало сочетание гипо- и гиперэхогенности, что может быть связано с одновременной воспалительной активностью печени и фиброзом [6, 17]. С другой стороны, нормальная эхоструктура печени при УЗИ собак, у которых гистологически подтверждено наличие ОГ и ХАГ, свидетельствует о низкой чувствительности УЗИ как метода идентификации и дифференциации.

Определение печеночных ферментов (АЛТ, АСТ, ЩФ и ГГТ) — наиболее чувствительный и надежный метод диагностики гепатопатологий [16, 18]. В наших исследованиях мы отмечали значительное увеличение ферментов печени, а также О. Билирубина и глобулина в крови у собак с первичным гепатитом, что возможно связано с большой потерей целостности мембран клеток гепатоцитов и диффузной некровоспалительной активностью печеночной паренхимы. Кроме того, анализ показателей метаболической функции печени (общий белок, альбумин, мочевины и отношения А/Г) позволил выявить значительное снижение функциональной активности печени и значительное повреждение гепатоцитов, поскольку они снизились у собак с ОГ или ХАГ по сравнению с контрольной группой [1, 2, 18].

Незначительное изменение уровня креатинина в сыворотке, а также активность амилазы и липазы у животных с первичным гепатитом по сравнению с контролем позволили исключить заболевания почек и поджелудочной железы. К сожалению, анализ биохимических показателей не может с полной достоверностью указывать на наличие ОГ или ХАГ, поскольку они значительно изменились в обеих группах.

В настоящее время появляются новые данные, свидетельствующие о том, что микроРНК подходят для диагностики раннего повреждения печени, поскольку они действуют тождественно механизму провоспалительных и профиброзных медиаторов на различных стадиях молекулярного уровня патологий печени [8, 10, 13].

Нами была доказана эффективность *sfa-miR-122* в качестве раннего точного биомаркера первичного гепатита, поскольку он стабильно и значительно экспрессируется раньше, чем АЛТ, в сыворотке собак с ПГ, что связано с активной ролью *miR-122* во влиянии гепатоцеллюлярного некровоспаления и апоптоза у собак [2, 9, 10, 13].

Следует отметить, что *miR-21* в сыворотке был значительно повышен при ХАГ и имел диагностическую значимость при дифференцировании ХАГ от ОГ и контрольной группы в виде прогрессирования фиброза через TGF- β -активированный путь первичных HSCs и связанные с фиброзом гены (α -SMA, Col1A1 и FN1) вызывающие понижение *miR-122* и повышение *miR-21* в сыворотке собак с ХАГ [2, 7, 9]. Это связано с тем, что *miR-21* действует как одна из главных движущих сил прогрессирования повреждений печени в фиброз, поскольку он косвенно активирует звездчатые клетки печени (HSC) для синтеза внеклеточного матрикса (ECM) посредством активации сигнальных путей TGF- β 1/Smads, ERK, PTEN/Akt и NF- κ B [11, 13, 19, 20].

Заключение

Доказано, что *sfa-miR-122* экспрессирован в сыворотке собак с ОГ или ХАГ, в то время как *sfa-miR-21* потенциально может быть экспрессирован только в сыворотке собак с ХАГ, связанным с отложением фиброзной ткани. Таким образом, исследование *sfa-miR-21* может служить в качестве нового неинвазивного диагностического биомаркера для дифференциации ОГ от ХАГ и для раннего прогнозирования и предотвращения фиброза печени, связанного с циррозом.

Библиографический список / References

1. Poldervaart JH, Favier RP, Penning LC, Ingh TVD, Rothuizen J. Primary Hepatitis in Dogs: A Retrospective Review (2002—2006). *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2009; 23(1): 72—80. doi: 10.1111/j.1939-1676.2008.0215.x.
2. Dirksen K, Verzijl T, Ingh TVD, Vernooij J, Laan LVD, Burgener I, et al. Hepatocyte-derived microRNAs as sensitive serum biomarkers of hepatocellular injury in Labrador retrievers. *The Veterinary Journal*. 2016; 211:75—81. doi: 10.1016/j.tvjl.2016.01.010.
3. Meyer HP, Rothuizen J. History and physical examination. In: Washabau RJ, Day MJ. (eds). *Canine & Feline Gastroenterology*. St. Louis, MO: Elsevier Saunders; 2013.
4. Eulenberg VM, Lidbury JA. Hepatic Fibrosis in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2017; 32(1):26—41. doi: 10.1111/jvim.1489.
5. Raghu C, Ekena J, Cullen JM, Webb CB, Trepanier LA. Evaluation of potential serum biomarkers of hepatic fibrosis and necroinflammatory activity in dogs with liver disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2018; 32(3):1009—1018. doi: 10.1111/jvim.15064.
6. Larson MM. Ultrasound Imaging of the Hepatobiliary System and Pancreas. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 2016; 46(3):453—480. doi: 10.1016/j.cvsm.2015.12.004
7. Craig SM, Fry JK, Hoffmann AR, Manino P, Heilmann RM, Suchodolski JS, et al. Serum C-reactive protein and S100A12 concentrations in dogs with hepatic disease. *Journal of Small Animal Practice*. 2016; 57(9):459—464. doi: 10.1111/jsap.12504.
8. Schueller F, Roy S, Vucur M, Trautwein C, Luedde T, Roderburg C. The Role of miRNAs in the pathophysiology of liver diseases and toxicity. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018; 19(1):261—269. doi: 10.3390/ijms19010261.
9. Dirksen K, Verzijl T, Grinwis G, Favier R, Penning L, Burgener I, et al. Use of Serum MicroRNAs as Biomarker for Hepatobiliary Diseases in Dogs. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2016; 30(6):1816—1823. doi: 10.1111/jvim.14602.
10. El-Sebaey AM, Abramov PN, Abdelhamid FM. Clinical Characteristics, Serum Biochemical Changes, and Expression Profile of Serum Cfa-miRNAs in Dogs Confirmed to Have Congenital Portosystemic Shunts Accompanied by Liver Pathologies. *Veterinary Sciences*. 2020; 7(2):35—41. doi: 10.3390/vetsci7020035.
11. Huang Q, Zhang X, Bai F, Nie J, Wen S, Wei Y, et al. Methyl helicerte ameliorates liver fibrosis by regulating miR-21-mediated ERK and TGF- β 1/Smads pathways. *International Immunopharmacology*. 2019; 66:41—51. doi: 10.1016/j.intimp.2018.11.006.
12. Feldman AT, Wolfe D. Tissue Processing and Hematoxylin and Eosin Staining. In: Day C. (ed). *Histopathology. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)*. Vol. 1180. New York: Humana Press; 2014. p. 31—43. doi: 10.1007/978-1-4939-1050-2_3.
13. El-Sebaey AM, Abramov PN. Circulating hepatocyte derived microRNA as a diagnostic biomarker of gallstone disease in dogs. *Veterinarian*. 2020; 2:64—73. (In Russ). doi: 10.33632/1998-698X. 2020-2-64-73
Эль-Себаей А.М., Абрамов П.Н. Циркуляционная гепатоцитная производная микроРНК как диагностический биомаркер желчнокаменной болезни у собак // Ветеринарный врач. 2020. № 2. С. 64—73. doi: 10.33632/1998-698X. 2020-2-64-73
14. Livak KJ, Schmittgen TD. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT method. *Methods*. 2001; 25(4):402—408. doi: 10.1006/meth.2001.1262.
15. Kirkwood BR, Sterne JAC. *Essential Medical Statistics*. 2nd ed. Oxford: Blackwell; 2003.
16. Eman SR, Kubesy AA, Baraka TA, Torad FA, Shaymaa IS, Mohammed FF. Evaluation of hepatocyte-derived microRNA-122 for diagnosis of acute and chronic hepatitis of dogs. *Veterinary World*. 2018;11(5):667—673. doi: 10.14202/vetworld.2018.667—673.
17. Slivinska LG, Maksymovych IA, Leno MI, Rusyn VI, Chernushkin BO, Rij MB. Visual diagnostics of liver diseases in dogs. *Uchenye zapiski UO VGAVM*. 2017; 53(2):138—142.
Сливинская Л.Г., Максимович И.А., Леньо М.И., Русин В.И., Чернушкин Б.О., Рий М.Б. Визуальная диагностика заболеваний печени у собак // Ученые записки УО ВГАВМ. 2017. Т. 53. № 2. С. 138—142.
18. Bazhibina EB. Algorithm for the diagnostic study of animals with hyperbilirubinemia. *Russian veterinary journal. Small domestic and wild animals*. 2013; 5(1):29—32.
Бажибина Е.Б. Алгоритм диагностического исследования животных с гипербилирубинемией // Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные. 2013. Т. 5. № 1. С. 29—32.
19. Zhao J, Tang N, Wu K, Dai W, Ye C, Shi J, et al. MiR-21 simultaneously regulates ERK1 signaling in HSC activation and hepatocyte EMT in hepatic fibrosis. *PLoS ONE*. 2014; 9(10): e108005. doi: 10.1371/journal.pone.0108005.
20. Szabo G, Bala S. MicroRNAs in liver disease. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*. 2013; 10(9):542—552. doi: 10.1038/nrgastro.2013.87.

Об авторах:

Эль-Себаей Ахмед Мохаммед Хассан — аспирант кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; доцент кафедры клинической патологии факультета ветеринарной медицины, Университет Мансура, Египет, 35516, г. Мансура, e-mail: dr_sebaey@mans.edu.eg

Абрамов Павел Николаевич — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: Abramov_P@inbox.ru

Борунова Сеидфатима Мировна — доктор биологических наук, профессор кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: fatima.borunova@mail.ru

About authors:

El-Sebaey Ahmed Mohammed Hassan — Postgraduate student, Department of Diagnostics of Diseases, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; assistant lecturer, Department of Clinical Pathology, Faculty of Veterinary Medicine, Mansoura University, 25 El Gomhouria st., Mansoura, 35516, Egypt; e-mail: dr_sebaey@mans.edu.eg

Abramov Pavel Nikolaevich — Candidate of Veterinary Sciences, Associate professor, Department of Diagnostics of Diseases, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: Abramov_P@inbox.ru

Borunova Seidfatima Mirovna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Diagnostics of Diseases, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named K.I. Skryabin, 23 Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: fatima.borunova@mail.ru



DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-3-308-317
UDC 636.093

Research article / Научная статья

Identification of Ixodidae ticks from cattle imported into the South Kivu province, east of the Democratic Republic of Congo

Muhimuzi A. Bisusa¹, Marara E. Bizire², Bujingo D. Muntuokuwindi³,
Gilbert Nijimbere^{4*}, Kashamuka R. Musimwa⁵, Vyambwera G.Ch. Kambale⁶

¹Lwiro Natural Sciences Research Centre (NSERC—LWRO), Bukavu, Democratic Republic of Congo

²Interdisciplinary Centre for Continuing Education (Cidep), Bukavu, Democratic Republic of Congo

³Lwiro fiftieth anniversary University (UNI-50), Bukavu, Democratic Republic of Congo

⁴Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

⁵National Institute for Agronomic Research (INERA), Mulungu, Democratic Republic of Congo

⁶Catholic University of Graben (UCG), Butembo, Democratic Republic of Congo

*Corresponding author: gilbert.nijimbere@ub.edu.bi

Abstract. A survey has been conducted in Bukavu on bovines imported in Democratic Republic of Congo from Rwanda to the public slaughterhouse of Bukavu, with the aim of identifying the Ixodidae ticks on their body. Thus, 1024 ticks have been collected on 300 cows for the entomological identification. Four species have been identified whose *Boophilus decoloratus* (44.4%), *Rhipicephalus appendiculatus* (43.9%), *Amblyomma variegatum* (11 %) and *Ixodes thomasi* (2 %). This last species being a new among those recognized in South Kivu. A charge to ticks of 6.5 has been observed at those bovines and the infestation rate has been significantly different in the 4 races, the Friesland (41.1%) and Ankolé presented the superior values. The importation of cows in this part of the country from Rwanda is a real factor which conducts to the introduction of ticks and also diseases in Democratic Republic of Congo. Then being measures of health control in the border must be sustained and reinforced for minimizing real risks.

Keywords: Identification, Ticks, *Ixodidae*, Bovins, Imports, South Kivu, Democratic Republic of Congo

Article history:

Received: 11 June 2020. Accepted: 1 September 2020

For citation:

Bisusa MA, Bizire ME, Muntuokuwindi BD, Nijimbere G, Musimwa KR, Kambale VGCh. Identification of *Ixodidae* ticks from cattle imported into the South Kivu province, East of the Democratic Republic of Congo. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(3):294—307. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-294-317

© Bisusa M.A., Bizire M.E., Muntuokuwindi B.D., Nijimbere G., Musimwa K.R., Kambale V.G.Ch., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Introduction

Mismanagement and insufficient means of preventing animal diseases at the border is the basis for the introduction of several pathogens in many countries in Africa. The uncontrolled movement of cattle within and between countries constitutes a real source of spread of ticks and the diseases carried by them across the territories (Kabare, kalehe; Kaziba, Walungu, Mwenga...) and chiefdoms (Ninja, Luhwindja, Burhinyi,...) notably located at entry points and in environments of increased consumption of animal proteins in all provinces [1]. The work carried out by Bisusa and Rucacura on ticks in cattle in the Ruzizi plain noted the presence of *Hyalomma truncantum* [2]. The introduction into this breeding area was linked to the importation of cattle from Burundi and Tanzania. The presence of *Rhipicephalus appendiculatus* in Rwanda [3] and other species in South Kivu in the Democratic Republic of Congo [4–6], is an element which, in view of the livestock exchanges takes place between these two countries and indicate the possibility of transferring other ticks from one region to another. Ticks are obligate blood-sucking arthropods and represent one of the major constraints to the development of animal husbandry in Africa as elsewhere in the world [5, 7]. They are sources not only of direct actions, such as skin irritations and blood spoliations, but also of indirect effects such as the transmission of pathogenic agents such as viruses, neuroviruses, bacteria and nematodes [8].

In addition, ticks and the diseases they transmit represent a major obstacle to the improvement and productivity of ruminant farming [9]. In an animal undergoing a significant infestation by ticks, weight loss and a decrease in milk production are observed; loss of appetite, anorexia and nasal discharge are also often observed [10].

Several species of ticks are at the basis of transmitting a variety of pathogens to mammals, particularly hard ticks such as *Rhipicephalus appendiculatus*, *Boophilus decoloratus*, *Amblyomma variegatum*, *Hyalomma spp.* [4, 11–14] are often found in cattle. These ticks therefore constitute a serious threat on farms if the appropriate measures are not taken [15]. The main diseases transmitted by ticks in tropical regions are Theileriosis, Babesiosis, Anaplasmosis and are responsible for more than 63% of animal mortality in several countries and the decline in productivity [16].

In eastern, central and southern Africa, annual losses due to the East Coast Fever, tick-borne illness (calculated in 1989) have been estimated at 168 million doll. including a mortality of more than 1.1 million cattle [17]. The situation remains worrying as a result of the movement of animals from one country to another without any form of provisions, to avoid their dissemination [18]. It is in this context that the present study was undertaken with a view to answering the question of whether the importation of cattle into Bukavu cannot also contribute to the importation of ticks, diseases and their spread in farms from South Kivu.

Materials and methods

Study environment / description of the Elakat slaughterhouse. The study was carried out at the main Elakat animal slaughterhouse located in the town of Bukavu, specifically in the commune of Ibanda, which is the place of arrival of cattle from neighboring

countries. According to its history, this slaughterhouse dates back to colonial times, point of arrival and distribution of cattle and other animals in points scattered inside the province of South Kivu.

This Elakat site is located on the border, more to the east of the Democratic Republic of Congo not far from the Ruzizi river, which constitutes the border with the Republic of Rwanda. It is located in the commune of Ibanda which has a temperate mountain climate which has two seasons, one dry generally extending over four months and the other rainy extending over eight months. The average temperature varies between 22 and 27 °C. The land is rugged because it has many steep slopes that are unsuitable for house construction and agriculture. This is the case with Elakat (our study site), in the Ndendere district; Mbeke in the Panzi district and Ruzizi / Somenki in the Nyalukemba district. Its hydrography of Ibanda is as follows: Lake Kivu to the north, the Kawa river separating the commune of Ibanda from that of Kadutu; The Mukukwe river which rises in the Ndendere district and flows into the Ruzizi river, always passing through the same district; the Ruzizi river which is an outlet from Lake Kivu and on which the Ruzizi hydroelectric dam was erected.

In this region animals, particularly cattle come from neighboring countries via Rwanda to Bukavu at the level of the slaughterhouse where part is slaughtered and another recovered by breeders depending on the breed and the performance of the cattle for their breeding. Slaughterhouse operates every day and receives animals coming from abroad on Tuesday and Thursday at the border, no zoo-sanitary provisions apply even though they are provided for by law (quarantine, sprinkling, deworming, etc.) more concerned with Elakat are cattle, although at times we also find a few pig heads there, but in small numbers.

Harvest, conservation and identification. The rate of passage to harvest was weekly. In well-contained animals, ticks were searched all over the body, starting with preferential fixation sites such as the ear, base of the horns, ventral or abdominal region, anal and genital regions and baleen. The technique involved inspecting and searching the coat. Thus, all the ticks encountered were removed using anatomical forceps or by hand between the thumb and forefinger by simple manipulation. This traction should be gentle and done gently so as not to damage the rostrum which is important in the diagnosis of ticks [19]. The harvested ticks were then kept in labeled vials containing 70% ethanol, thus sparing them from alteration which could make identification impossible to avoid rapid dehydration of the samples and further soften their seed coat, on each label was marked: the identification number of the animal, the date of harvest, and the breed of the animals. Thus, the preserved samples were sent to the Veterinary Entomology laboratory of the Lwiro Natural Sciences Research Center (CRSN / Lwiro) for their identification. The contents of each vial were sorted to separate the larvae from nymphs and adults. Subsequently, a count of each stage of development was carried out and followed by an identification based on the morpho-anatomical characteristics while knowing that the study focused on certain morphological details such as, in addition to the characters to identify the gender, shape of teeth, color and shape of eyes, shape of genital and anal openings, punctuation of scutum, lateral furrows and media, color and shape of legs with or without hair, shape of scallops as described by some authors [20—23].

Statistical analyzes. The data obtained from the collection of ticks and their identification were, for their interpretation, subjected to the Pearson Chi-Square test, according to the model proposed by Leroy and Farnir [24], at a risk p of 5%, for one degree of freedom (dof) equal to 9. The frequency of ticks was determined from the simple calculation of the percentage according to the following mathematical expression:

With x the frequency observed on a sample and n number of ticks.

Results

In this study, 1063 ticks collected from 300 cattle from Rwanda were subjected to morphological identification. The identification resulted in four different species belonging to four different genera. These species have been successively represented by: *Rhipicephalus appendiculatus*, *Boophilus decoloratus*, *Amblyomma variegatum* and *Ixodes thomasi*.

The tick load was determined in the four breeds of cattle involved and the influence of the breed on the frequency of these ticks was also studied. In Table 1 below are presented the results relating to the tick load by breed of cattle.

Table 1

Tick load in cattle breeds at Elakat slaughterhouse

N°	Race/ Bovine	Bovines number examined	Bovines number examined infestés	Ticks number	Bovine Charge ticks by races
1	Ankolé	100	65	396	6
2	Frisian	96	61	440	7.2
3	Swiss brown	63	29	176	6
4	Jersey	41	08	51	6.3
Total		300	163	1063	6.5

In table 1, it appears that for 300 cattle examined 4 breeds of cattle were concerned in particular: Ankolé, Frisian, Swiss brown and jersey. For the Ankolé, we found 396 ticks on 65 cattle, a load of 6 ticks per cattle. For the Frisians we found 440 ticks on 61 cattle, a load of 7.2 ticks per cattle. While for Swiss Browns, 176 ticks out of 29 cattle and the load was 6 ticks per cattle and on Jersey at the end 51 ticks were collected from 8 cattle and a load of 6.3 ticks per cattle.

Of the 300 cattle examined, 163 cattle or 54.3% were infested with ticks and the total burden of ticks per cattle was 6.5 ticks.

From table 2: it notes that for the four cattle breeds, four species of ticks were identified. From these breeds of cattle, the Ankole alone had a total of 396 ticks or 35.2% of ticks including: 60 male ticks, 73 female ticks and 23 nymphs (*Rhipicephalus appendiculatus*), 8 males, 167 females and 15 nymphs (*Boophilus decoloratus*), 32 males, 10 females (*Amblyomma variegatum*), and 8 females (*Ixodes thomasi*). For the Friesians we identified a total of 500 ticks or 44.4% including 95 males, 90 females and 43 nymphs (*Rhipicephalus appendiculatus*), 9 males, 114 Females and 67 nymphs (*Boophilus decoloratus*), 67 males, 34 females, and 11 nymphs (*Amblyomma variegatum*) and only 7 females (*Ixodes thomasi*).

Table 2

Frequency of tick species found in cattle breeds at the Elakat slaughterhouse

N°	Breed	Species of ticks												Total (%)	
		Rhip. app			Boo.dec			Ambly.var			Ixod.thom				–
		M	F	N	M	F	N	M	F	N	M	F	N		
1	Ankolé	60	73	23	8	167	15	32	10	0	0	8	0		35.2
TOTAL		156			190			42			8			396	
2	Frisian	95	90	43	9	144	67	34	11	0	0	7	0		44.4
TOTAL		228			220			45			7			500	
3	Swiss brown	26	34	15	2	66	6	11	10	0	0	6	0		15.6
Total		75			74			21			6			176	
4	Jersey	15	11	9	1	11	0	3	2	0	0	0	0		4.6
TOTAL		35			12			5			0			52	
Total (%)		494 (43.9)			496 (44.1)			113 (11)			21 (2.0)			1124 (100)	100

Legend: M: male; F: femelle; N: nymphe; nb: number.

Rhip. app: →*Rhipicephalus appendiculatus*; Boo.dec: *Boophilus decoloratus* Ambly.var: *Amblyomma variegatum*; Ixod.thom: *Ixodes thomasi*.

For Swiss brown 182 ticks were found including 26 males, 34 females and 15 nymphs (*Rhipicephalus appendiculatus*), 2 males, 66 females and 6 nymphs (*Boophilus decoloratus*), 11 males 10 females (*Amblyomma variegatum*), and finally 6 females (*Ixodes thomasi*). As for the Jersey breed we have identified a total of 52 ticks including 15 males, 10 females and 9 nymphs for *Rhipicephalus appendiculatus*, 1 male and 11 females for *Boophilus decoloratus*, 3 males and 2 females for *Amblyomma variegatum*. The different evolutionary stages of ticks have been encountered except for the nymphs for *A. variegatum* and *Ixodes thomasi*; eggs and larvae for the four species have not been identified due to lack of suitable equipment.

For the four species identified, *Boophilus decoloratus* (44.4%) and (*Rhipicephalus appendiculatus* (43.9%) presented relatively higher frequencies than *Amblyomma variegatum* (11%) and *Ixodes thomasi* (2%). For the breed of cattle, 396 ticks or 35.2% were collected on Ankolé cattle, 500 or 44.4% on Friesian cattle, 182 or 15.6% on Swiss brown and 52 or 4.6% on the Jersey breed. Statistical analysis of this result showed that the frequency of ticks on cattle from Rwanda in the Bukavu slaughterhouse varied significantly according to the breed. The Friesian (41.4%) and Ankolé (37.2%) breeds were more infested than the Alpine brown and Jersey.

Discussion

The tick load by breed of bovine was studied during our investigations. This load appeared arithmetically the same in the four breeds of cattle although a value of 7.2 ticks per cattle was observed in the Friesian breed. The overall tick load per cattle was 6.5. The

latter remains below the values of 82 ticks and 72 ticks reported respectively for cattle from the Democratic Republic of Congo [17]. The load of 6.5 ticks for cattle importing into the Democratic Republic of Congo, via Rwanda for Bukavu in South Kivu remains lower than that of 7 ticks for cattle from Belgium [25, 26].

Regarding the rates of infestation and species of ticks, we were able to observe four species of ticks, namely *Rhipicephalus appendiculatus*, *Boophilus decoloratus*, *Amblyomma variegatum* and *Ixodes thomasi*. These results are similar to those obtained by Vyambwera [4] in South Kivu where, in addition to the first three species, he identified the species *Rhipicephalus evertsi evertsi* and *Hyalomma marginatum rufipes*. The presence of *Ixodes thomasi* on cattle imported from Rwanda would constitute an additional danger since its presence would be recent in South Kivu and there is reason to fear its spread within the various herds from the slaughterhouse in Bukavu. Statistical analysis showed that the Ankolé (35.2%) and Frisian (44.4%) breeds were more parasitized. The high infestation rate of Ankole cattle and that of the Swiss brown and Jersey breeds is different from the results reported by Vyambwera and his collaborators [9]. For cattle from Beni Lubero, in North Kivu where exotic breeds were more parasitized than natives and where also the ticks *Rhipicephalus appendiculatus*, *Boophilus decoloratus* and *Amblyomma variegatum* were identified. The reduced infestation rate observed in Swiss brown (15.6%) and Jersey (4.6%) cattle may be related to the fact that these animals have developed a certain resistance to ticks, perhaps as a result of more than treatment followed by acaricide products previously that continuing to circulate the metabolism of these cattle. The most prevalent ticks are *Boophilus decoloratus* followed by *Rhipicephalus appendiculatus*, which are also those which transmit bovine theileriosis, a very deadly disease of cattle. East coast fever remains probably the most important livestock disease in Africa [26].

The economic importance of this disease is first of all due to the number of animals at risk. In 1982, 250 million cattle were at risk of tropical heather in the world [27]. In addition, tropical heather causes financial losses inherent in mortality recorded in adults as well as young people, in abortions, as well as in the cost of medical treatment, the latter being one of the most costly in bovine pathology [28], the economic losses are caused by the decreases in production (of milk and meat) which are all the more important as they affect both infected animals showing clinical signs and those presenting sub-clinical or even asymptomatic infections [29].

For these four imported cattle breeds namely: Ankolé, Frisian, Swiss brun and jersey, each of them had their own objective of being paid by the buyers at the Elakat slaughterhouse. Mainly for the Ankolé i.e. local cows with long horns, this breed was bought by butchers to convert them into meat at sales outlets, slaughterhouses (Bukavu), markets (Kadutu, Mudaka, Kavumu, Katana; Kabamba), group purchasing of cattle in companies (INERA, Pharmakina, CRSN-Lwiro, and butchers in towns and cities. This breed of cattle has few of weight and a simple corpulence is also doomed to perform long distances. They are found towards Shabunda, Kamituga, Kasaï in the interior of the Democratic Republic of Congo. However, for these three other breeds of cattle including: Frisian, Swiss brown and Jersey being of large build and high intensity of milk production and meat, they are preferred and bought more by local breeders under penalty of also having to produce for them. For this reason, their prices remain high, costing three or even four times the Ankolé cow.

Acaricides aim to reduce the tick population by cutting their life cycle, by eliminating adult ticks in the dry season and immature ticks (larvae and nymphs) in the rainy season [29]. By eliminating ticks, miticides help fight all the diseases they transmit. The classic method uses acaricides in baths or sprays. The use of impregnated acaricides (ear loops) although not yet used in our region, their slow release has the disadvantages of being expensive; it may be the cause of residual contamination of meat and milk [30]. Continued use of acaricides increases the risk of tick resistance, and the breakdown of anti-tick immunity leads to a loss of balance in endemic stability, rounding animals more susceptible to infection [31] acaricides should be used for both exporting and importing countries.

Conclusion

Although the tick load of 6.5 is lower for imported cattle and indicates a certain level of compliance with external deworming measures during the journey, it is still important to note the danger that these cattle would represent for livestock from South Kivu in view of the tick load for the farms from which these animals come. For the purposes of this study, we were unable to access data on the tick load for cattle from Rwanda between 2006 and today. It is also possible that these cattle have picked up ticks during the few minutes or hours of stay at the slaughterhouse in the Democratic Republic of Congo. It would therefore be ideal to collect from the cattle in the vehicle, at the point of entry into the Democratic Republic of Congo. However, a fight against ticks at the border would be an asset. The fight against ticks includes chemical control (spraying cattle during their crossing), agronomic control (rotation of pasture, brushing, grazing its animals on a well-defined space before their sale for the interior of the country), control genetics (use of less sensitive breeds), biological control (introduce cattle ranching). The development of new plant-based acaricides, local products (*Vernonia amygdalina*, *Tephrosia vogelii*,...) remains to be hoped because the chemical molecules are at the origin of environmental pollution and the risk of the presence of residues in the Human food is not negligible, and it also affects non-target species, which are present in the environment and present a high cost. The success of the fight against tropical theileriosis depends to a large extent on a good knowledge of the epidemiology of this protozoal disease in order to adapt the control strategy to the target area. Overall, this strategy is based on miticides control measures against the vector tick and on the vaccination of cattle against *T. parva*. The fight against ticks and the diseases they transmit to cattle such as theileriosis, babesiosis, anaplasmosis, Lyme disease, in DR Congo as in neighboring countries must be carried out according to a global strategy: (i) integrating the various control measures and detailed monitoring in quarantine service, following an economic cost-benefit approach, (ii) aiming in the medium term to achieve the eradication of the disease, given the significant losses caused by the asymptomatic carrier state, (iii) taking into account the particularities of each endemic state; (iv) integrating an extension component taking into account the erroneous perception of the transmission of diseases to buyer-breeders.

References

1. Rodhain F, Perez C. Les tiques Ixodidae: systématique, biologie, importance médicale. In: *Précis d'entomologie médicale et vétérinaire*. Paris: Maloine; 1985. p.341–350. (In french)
2. Bisusa MA, Kujirabwinja RE. Présence de *Hyalomma truncatum*, une nouvelle tique de la plaine de la Ruzizi, Est de la République démocratique du Congo, par l'importation des races améliorées des bovins de la Tanzanie et du Burundi. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. 2016; 26(1): 331–340. (In french)

3. Bazarusanga T, Vercruyse J, Marcotty T, Geysen D. Epidemiological studies on *Theileriosis* and the dynamics of *Theileria parva* infections in Rwanda. *Veterinary Parasitology*. 2007; 143(3–4):214–221. doi: 10.1016/j.vetpar.2006.09.009
4. Vyambwera G.C.K et al. Parasitisme dû aux tiques en zone d'élevage bovin de Béni-Lubero. Par cours et Initiative, CRIG, Production et santé Animale, 2009; 6, 22–31. (In french)
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; p.69–80.
6. Amzati S. *Modélisation par enquête rétrospective de l'épidémiologie de la Théileriose bovine au Sud-Kivu, dans l'Est de la République Démocratique du Congo*. [Dissertation]; 2011. (In french)
7. Ogden N, Mechai S, Margos G. Changing geographic ranges of ticks and tick-borne pathogens: drivers, mechanisms and consequences for pathogen diversity. *Front Cell Infect Microbiol*. 2013; 3:46. doi: 10.3389/fcimb.2013.00046
8. Farougou S. *Les tiques et les maladies transmises au bétail en Afrique tropicale: les hémoparasitoses et la Cowdriose*. [Dissertation] Bénin; 2007. (In french)
9. Kalume MK, Saegerman C, Mbahikyavolo DK, Makumyaviri AM, Marcotty T, Madder M, et al. Identification of hard ticks (Acari: Ixodidae) and seroprevalence to *Theileria parva* in cattle raised in North Kivu Province, Democratic Republic of Congo. *Parasitol Research*. 2013; 112(2):789–797. doi: 10.1007/s00436-012-3200-7
10. Morel PC. Maladies à tiques du bétail en Afrique. In: Chartier C, Itard J, Morel PC, Troncy PM. (eds.) *Précis de Parasitologie Vétérinaire Tropicale*. Paris: Internationales, TEC & DOC; 2000. p.452–761. (In french)
11. FAO. Report of the FAO expert consultation on revision of strategies for the control of ticks and tick-borne diseases, Rome, 25–29 September 1989. *Parassitologia*. 1990; 32:3–12.
12. Service MW. (ed.) *Encyclopedia of arthropod-transmitted infections of man and domesticated animals*. Liverpool: CABI Publishing; 2001.
13. Uilenberg G. Immunization against diseases caused by *Theileria parva*: a review. *Trop Med Int Hlth*. 1999; 4(9): A12–A20. doi: 10.1046/j.1365-3156.1999.00446.x
14. Kalume MK. Abondance saisonnière des tiques (Acari: Ixodidae) en fonction de système d'élevage des bovins dans la ville de Butembo, Province du Nord-Kivu, République Démocratique du Congo, Ed. *Parcours et initiatives*. 2012; 9:56–66. (In french)
15. Madder M, Thys E, Achi L, Toure A, De Deken R. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: almost successful invasive tick species in West-Africa. *Exp Appl Acarol*. 2011; 53(2):139–145. doi: 10.1007/s10493-010-9390-8
16. D'haese L, Penne K, Elyn R. Economics of theileriosis control in Zambia. *Trop Med Int Health*. 1999; 4(9): A49–A57. doi: 10.1046/j.1365-3156.1999.00451.x
17. Bisusa M, Kalume KM, Masunga MB. Abondance saisonnière des tiques (Acarina-Ixodidae) parasites des bovins élevés dans les territoires de Kabare, Sud-Kivu, RD Congo, parcours et initiation n°11, 2013: 226–235 (In french)
18. Balagizi KI, Ngendakumana S, Mushayuma NH, Adhama MT, Bisusa MA, Baluku B, et al. Perspectives de gouvernance environnementale durable dans la région de Lwiro (Sud Kivu, République Démocratique du Congo). *Vertig O*. 2013; 17. (In french) doi: 10.4000/vertigo.13826
19. Faraji F, Bakker F. A modified method for clearing, staining and mounting plant-inhabiting mites. *European Journal of Entomology*. 2008. 105(4):793–795.
20. Larmontellerie M. Tiques (Acarina- Ixodidae) de la Haute-Volta. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire, Series A: Sciences Naturelles*. 1966; 28:597–642. (In french)
21. Morel PC. *Contribution à la connaissance à la distribution des tiques (Acariens, Ixodidae et Amblyommidae) en Afrique Ethiopienne continentale* [Dissertation] Paris; 1969. (In french)
22. Charier C, Itard J, Morel PC, Troncy PM. *Précis de parasitologie vétérinaire tropicale*. Paris: Technique et documentation; 2000. (In french)
23. Walker AR, Bouattour A, Camicas JL, Estrada-Peña A, Horak IG, Latif AA, et al. Ticks of Domestic Animals in Africa: a Guide to Identification of Species. Scotland: Bioscience Reports; 2003.
24. Leroy P, Farnir F. *Méthodes statistiques en Médecine vétérinaire*. Liège: Faculté de Médecine Vétérinaire; 2001. (In french)
25. Bisusa MA, Wabo BA, Bora NJ, Mampasi BM, Eugide BR, Christophe NB, et al. Performance reproductive des tiques évaluées dans les conditions du laboratoire, au centre de recherche en sciences naturelles de Lwiro, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo. *International journal of innovation and scientific research*. 2018; 38:1–6. (In french)
26. Adehan SB, Biguezoton A, Adakal H, Dossa F, Dougnon TJ, Youssao E, et al. 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. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*. 2016; 49(1):1–11. doi: 10.5455/ajvs.216241
27. Olwoch JM, Reyers B, Engelbrecht FA, Erasmus BFN. Climate change and the tick-borne disease, Theileriosis (East Coast fever) in sub-Saharan Africa. *Journal of Arid Environments*. 2008; 72(2):108–120. doi: 10.1016/j.jaridenv.2007.04.003

28. Gachohi JM, Kitala PM, Ngumi PN, Skilton RA. Environment and farm factors associated with exposure to *Theileria parva* infection in cattle under traditional mixed farming system in Mbeere District, Kenya. *Tropical Animal Health and Production*. 2011; 43(1):271–277. doi: 10.1007/s11250–010–9688-x

29. Gharbi M, Sassi L, Dorchies P, Darghouth MA. *Theileria annulata* in Tunisia: economic analysis and evaluation of the potential benefit of vaccination. *Vet Parasitol*. 2006; 137(3–4):231–241. doi: 10.1016/j.vetpar.2006.01.015

30. Darghouth MA, Bouattour A, Kilani M. Theileriosis. In: Lefevre PC, Blancou J, Chermette R. (eds.) Principales maladies infectieuses du bétail, Europe et régions chaudes II. Paris: TEC & DOC; 2003. (In french)

31. Boulter N, Hall R. Immunity and vaccine development in the bovine theileriosis. *Advances in Parasitology*. 1999; 44:41–97.

About authors:

Bisusa Muhimuzi Alphonse — Researcher in Environmental Sciences, Head of Veterinary Entomology Laboratory, Research Associate, Department of Biology, Research Center in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S. Bukavu, Sud-Kivu, Democratic Republic of Congo; e-mail: bisusamuhimuzi@gmail.com

Bizire Marara Emmanuel — Assistant, Interdisciplinary Center for Continuing Education (CIDEP) of Bukavu, Bukavu, South Kivu, 1550, Democratic Republic of the Congo; e-mail: ebmara@gmail.com

Muntuokuwindi Bujingo Donatien — Caring Agent of animals in community in Kabare territory, South Kivu, consultant at Veterinary Without Border Belgium (VSF); D.S. Bukavu, Democratic Republic of the Congo; e-mail: mb.donatien@gmail.com

Nijimbere Gilbert — PhD student, Department of Genetics and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Ecology, Kuban State Agrarian University, 13 Kalinina st., Krasnodar, 350044, Russian Federation; e-mail: gilbert.nijimbere@ub.edu.bi

Musimwa Kashamuka Roger — Assistant, National Institute for Agronomic Study and Research (INERA-Mulungu) at the legumes programme, D. S Bukavu, Democratic Republic of the Congo; e-mail: musimwakashamuka@gmail.com

Kambale Vyambwera Guido-Charles — MSc in Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, Catholic University of Graben, B. P. 29 Butembo, North Kivu, Democratic Republic of the Congo; e-mail: gkambale@gmail.com

Идентификация иксодовых клещей крупного рогатого скота, завезенного в провинцию Южное Киву Демократической Республики Конго

**М.А. Бисуза¹, М.Э. Бизире², Б.Д. Мунтуокувинди³,
Ж. Нижимбере^{4*}, К.Р. Мусимва⁵, В.Г.Ш. Камбале⁶**

¹Научно-исследовательский центр естественных наук Лвиро,
г. Букаву, Демократическая Республика Конго

²Междисциплинарный центр непрерывного образования,
г. Букаву, Демократическая Республика Конго

³Университет пятидесятой годовщины Лвиро, г. Букаву, Демократическая Республика Конго

⁴Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар, Российская Федерация

⁵Национальный институт аграрных исследований,
г. Мулунгу, Демократическая Республика Конго

⁶Католический университет Грабена, г. Бутембо, Демократическая Республика Конго

*gilbert.nijimbere@ub.edu.bi

Аннотация. Проведена оценка состояния животных на предмет наличия иксодовых клещей у крупного рогатого скота, завезенного на общественную скотобойню в г. Букаву Демократической Республики Конго из Руанды. В результате исследования на 300 коровах и быках для энтомологической идентификации

было собрано 1024 клеща. Идентифицированы четыре вида: *Boophilus decoloratus* (44,4%), *Rhipicephalus appendiculatus* (43,9%), *Amblyomma variegatum* (11%) и *Ixodes thomasi* (2%). Последний вид является новым для территории Южного Киву. Коэффициент заражения клещами у этих животных составил 6,5, а степень поражения различалась в зависимости от породы, наиболее высокие значения отмечались у Фризской (41,1%) и Анголе. Ввоз крупного рогатого скота в эту часть страны из Руанды является важным фактором, который ведет к появлению и распространению клещей, а также вызываемых ими болезней в Демократической Республике Конго. Таким образом, меры по контролю ввоза крупного рогатого скота на границе должны быть устойчивыми и усиленными для минимизации потенциальных рисков.

Ключевые слова: идентификация, зараженность, клещи, иксодовые клещи, Ixodidae, коровы, быки, Южный Киву, Демократическая Республика Конго

История статьи:

Поступила в редакцию: 11 июня 2020 г. Принята к публикации: 1 сентября 2020 г.

Для цитирования:

Bisusa M.A., Bizire M.E., Muntuokuwindi B.D., Nijimbere G., Musimwa K.R., Kambale V.G.Ch. Identification of *Ixodidae* ticks from cattle imported into the South Kivu province, East of the Democratic Republic of Congo // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 3. С. 294—317 doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-3-294-317

Об авторах:

Бисуса Мухимузи Альфонс — научный сотрудник, руководитель лаборатории ветеринарной энтомологии, кафедра биологии, Центр естественных наук, Лвиро, Демократическая Республика Конго, г. Букаву; e-mail: bisusamuhimuzi@gmail.com

Бизире Марара Эммануэль — ассистент, Междисциплинарный центр непрерывного образования (CIDEP), Демократическая Республика Конго, Южная Киву, г. Букаву; e-mail: ebmara@gmail.com

Мунтуокуинди Донасьен Буджинго — агент по уходу за животными в общине на территории кабаге, консультант, ветеринарная служба без границ Бельгии (VSF); Демократическая Республика Конго, Южная Киву, г. Букаву; e-mail: mb.donatien@gmail.com

Нижимбере Жилбер — аспирант кафедры генетики и селекции растений, факультет агрономии и экологии, Кубанский государственный аграрный университет, 350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Калинина, д. 13; e-mail: gilbert.nijimbere@ub.edu.bi

Мусимва Кашамука Роджер — ассистент, Национальный институт агрономических исследований и исследований (инера-Мулунгу) по программе бобовых культур, Демократическая Республика Конго, Южная Киву, г. Букаву; e-mail: musimwakashamuka@gmail.com

Камбале Вьямбвера Гвидо-Шарль — магистр, факультет ветеринарной медицины, Католический университет Грабена, Демократическая Республика Конго, Северная Киву, г. Бутембо Б.П. 29; e-mail: gkambale@gmail.com

