



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2023 Том 18 № 4

Пестициды. Взгляд в будущее

Научный редактор *Т.С. Астарханова*

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4
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 имени Патриса Лумумбы»

Главный редактор

Ватников Ю.А., д-р вет. наук,
проф., директор департамента
ветеринарной медицины АТИ,
РУДН, Москва, Российская
Федерация
E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

Заместитель главного редактора

Пакина Е.Н., д-р биол. наук,
директор Агробиотехнологического
департамента АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: pakina-en@rudn.ru

Ответственный секретарь

Куликов Е.В., канд. биол. наук,
доц. департамента ветеринарной
медицины АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

Члены редакционной коллегии

Азии С., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран

Астарханова Т.С., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

Благовацкая Е.В., д-р биол. наук, проф., Центр экологических исследований им. Гельмгольца, Лейпциг, Германия

Валентини Р., д-р биол. наук, проф., лауреат Нобелевской премии мира (2007), Университет Тушини, Витербо, Италия

Васильев А.А., д-р биол. наук, проф., МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ

Гинс М.С., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФНИЦО Овощеводства РАН, Московская обл., РФ

Долженко В.И., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ВНИИЗР, Пушкин, Санкт-Петербург, РФ

Донник И.М., д-р биол. наук, проф., академик РАН, Российская академия наук, Москва, РФ

Дорожкин В.И., д-р биол. наук, академик РАН, проф., ВНИИВГСЭ — филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, Москва, РФ

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

Дускаев Г.К., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, Оренбург, РФ

Егоров И.А., д-р биол. наук, академик РАН, проф., ФНЦ «ВНИТИП» РАН, Сергиев Посад, РФ

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

Забережный А.Д., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФГБНУ ВНИТИБП, Московская обл., РФ

Завалин А.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ

Заргар М., канд. с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

Игнатов А.Н., д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

Ковгос Д., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Салоники, Греция

Коцаев А.Г., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., КубГАУ, Краснодар, РФ

Котарев В.И., д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВНИВИПФиТ», Воронеж, РФ

Кузяков Я.В., д-р биол. наук, проф., Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Геттинген, Германия

Ленченко Е.М., д-р вет. наук, проф., ФГБОУ ВО «МГУПП», Москва, РФ

Мохаммади-Неджад Г., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран

Никитченко Д.В., д-р биол. наук, проф., ОМПК, Москва, РФ

Новиков А.Е., д-р тех. наук, доц., ВолГТУ, Волгоград, РФ

Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН, ВолГАУ, Волгоград, РФ

Пивоваров В.Ф., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ФНЦО, Московская обл., РФ

Пименов Н.В., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ

Плескачев Ю.Н., д-р с.-х. наук, проф., ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., РФ

Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

Соловьев А.А., д-р биол. наук, проф. РАН, проф., ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, РФ

Сычёв В.Г., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ

Ткачев А.В., д-р с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

Уша Б.В., д-р вет. наук, заслуж. деятель науки и техники РФ, академик РАН, МГУПП, Москва, РФ

Юлдашбаев Ю.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

Юсефи М., канд. биол. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

Вестник Российского университета дружбы народов.
Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

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

4 выпуска в год (ежеквартально)

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Языки: русский, английский.

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

Цели и тематика. Журнал «Вестник Российского университета дружбы народов. 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 исследования 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: 1.5.9. Ботаника (сельскохозяйственные науки), 1.5.19. Почвоведение (сельскохозяйственные науки), 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.3. Агротехнология, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки, биологические науки), 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки), 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки, биологические 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 28.12.2023. Выход в свет 30.12.2023. Формат 70×100/16.

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

Усл. печ. л. 12,8. Тираж 500 экз. Заказ № 1613. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (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

2023 VOLUME 18 No. 4

Pesticides. Looking to the future
Scientific editor *T.S. Astarkhanova*

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA NAMED AFTER PATRICE LUMUMBA

EDITOR-IN-CHIEF

Yuriy A. Vatnikov,
D.Sc. in Veterinary Medicine, Professor,
Director of Department of Veterinary
Medicine, Agrarian and Technological
Institute, RUDN University, Moscow,
Russian Federation
E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena N. Pakina,
D.Sc. in Biology, Director of
Agrobiotechnology Department,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: pakina-en@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Evgeniy V. Kulikov,
Ph.D. in Biology, Associate Professor,
Department of Veterinary Medicine,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

EDITORIAL BOARD MEMBERS

- Sonia Agigi* — D.Sc. in Biology, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Tamara S. Astarkhanova — D.Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Evgenia V. Blagodatskaya — D.Sc. in Biology, Professor, Helmholtz-Center for Environmental Research, Leipzig, Germany
Victor I. Dolzhenko — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation
Irina M. Donnik — D.Sc. in Biology, Professor, Academician of the RAS, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Vasily I. Dorozhkin — D.Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Branch of Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine, RAS), Moscow, Russian Federation
Nikolai N. Dubenok — D.Sc. in Agriculture, Professor, Academician of the RAS, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
Galimzhan K. Duskaev — D.Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Federal Scientific Center biological systems and agricultural technologies RAS, Orenburg, Russian Federation
Ivan A. Egorov — D.Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, Head of the Scientific Direction of Poultry Nutrition, All-Russian Research and Technological Poultry Institute of RAS, Sergiev Posad, Russian Federation
Sergey N. Elansky — D.Sc. in Biology, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
Murat S. Gins — D.Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation
Alexander N. Ignatov — D.Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Andrey G. Koshaev — D.Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation
Vyacheslav I. Kotarev — D.Sc. in Agriculture, Professor, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation
Dimtrios Koveos — PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece
Yakov V. Kuzyakov — Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Göttingen, Göttingen, Germany
Ekaterina M. Lenchenko — D.Sc. in Veterinary Medicine, Professor, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
Ghasem Mohammadi-Nejad — PhD, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Dmitry V. Nikitchenko — D.Sc. in Biology, Professor, Ostankino Meat Processing Plant, Moscow, Russian Federation
Andrey E. Novikov — D.Sc. in Technology, Associate Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation
Aleksey S. Ovchinnikov — D.Sc. in Agriculture, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation
Nikolai V. Pimenov — D.Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Viktor F. Pivovarov — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation
Yury N. Pleskachev — D.Sc. in Agriculture, Professor, Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Region, Russian Federation
Vadim G. Plyushchikov — D.Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Alexander A. Solovoy — D.Sc. in Biology, Professor of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Victor G. Sychev — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation
Alexander V. Tkachev — D.Sc. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Boris V. Usha — D.Sc. in Veterinary Medicine, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Academician of the RAS, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
Riccardo Valentini — D.Sc. in Biology, Professor, Nobel Peace Prize Laureate (2007), University of Tuscia, Viterbo, Italy
Aleksey A. Vasiliev — D.Sc. in Biology, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Morteza Yousefi — Ph.D. in Biology, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Yusupzhan A. Yuldashbaev — D.Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
Aleksey D. Zaberezhny — D.Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor, All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry, Moscow Region, Russian Federation
Meisam Zargar — Ph.D. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Aleksey A. Zavalin — D.Sc. in Agriculture, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

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

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

Publication frequency: Quarterly

<http://agrojournal.rudn.ru> e-mail: agroj@rudn.ru

Languages: Russian, English

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

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 Named After Patrice Lumumba (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

Пестициды. Взгляд в будущее

Долженко В.И., Кармазин А.П., Астарханова Т.С. Пестициды и их действие на человека и окружающую среду..... 455

Березнов А.В., Астарханов И.Р., Ашурбекова Т.Н., Бехзад А. Эффективность и безопасность комбинированного гербицида Аврора, МД для защиты кукурузы 464

Дахаева Ф.Д., Бахман С., Гинс М.С., Баят М. Разработка и синтез соединений с фунгицидной активностью в подавлении роста грибов 475

Рябов С.В., Введенский В.В., Долженко Т.В., Каррижо Р. Эффективность двух форм родентицидных приманок против серых крыс и обыкновенных полевок, основанных на бродифакуме 485

Долженко В.И., Шаповал О.В., Плескачев Ю.Н., Астарханова Т.С. Эффективность биоинсектицида на основе энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* для защиты винограда493

Пакина Е.Н., Шкуркин С.И., Мухина М.Т. Оценка эффективности биопрепаратов для контроля наиболее значимых микозов на посадках картофеля501

Растениеводство

Баканева А.А. Посадка дуба черешчатого *Quercus robur* L. однолетними и двулетними саженцами с использованием гидрогеля 508

Гинс Е.М. Влияние низкой положительной температуры на формирование антиоксидантной системы световых и этиолированных проростков *Amaranthus tricolor* L., выращенных из семян, обработанных регуляторами роста ... 520

Мульо Панолуиса Ф.Э., Семенова Н.А., Романова Е.В. Оценка исходного материала сои овощной *Glycine max* L. Merr. в Московской области 531

Защита растений

Tkhorik O.V., Kharlamov V.A., Polyakova I.V., Loy N.N., Pomyasova M.G., Shishko V.I. World experience in the application of low-energy electron irradiation in agriculture [Мировой опыт применения облучения низкоэнергетическими электронами в сельском хозяйстве] 541

Агротехнологии и мелиорация земель

Бабичев А.Н., Сидаренко Д.П. Влияние прецизионного орошения на водный режим и продуктивность озимой пшеницы.....554

Новиков А.Е., Поддубский А.А., Новиков А.А., Збукарев Р.В., Богомолова Н.В. Повышение эффективности оросительных мелиораций в агроценозах картофеля и сои на основе применения иловых осадков.....566

Ветеринария

Ленченко Е.М., Толмачева Г.С. Динамика морфофункциональных показателей при экспериментальном псевдомонозе кроликов..... 580

Назарова А.В., Семенов Б.С., Кузнецова Т.Ш. Оперативное лечение тубулярной аденомы прямой кишки у собаки..... 591

Contents

Pesticides. Looking to the future

- Dolzhenko V.I., Karmazin A.P., Astarkhanova T.S. Effects of pesticides on human health and environment..... 455
- Bereznov A.V., Astarkhanov I.R., Ashurbekova T.N., Behzad A. Efficiency and safety of combined herbicide Avrora, OD for corn protection 464
- Dahaeva F.D., Bachman S., Gins M.S., Bayat M. Development and synthesis of compounds with fungicidal activity in suppression of fungal growth 475
- Ryabov S.V., Vvedensky V.V., Dolzhenko T.V., Karrijow R. Testing two forms of rodenticide baits based on brodifacoum *in vitro* on Norway rats *Rattus norvegicus*..... 485
- Dolzhenko V.I., Shapoval O.V., Pleskachev Y.N., Astarkhanova T.S. Efficiency of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticide in grapevine protection493
- Pakina E.N., Shkurkin S.I., Mukhina M.T. Effectiveness of biological products for control of the most significant mycoses on potato crops501

Crop production

- Bakaneva A.A. The effect of hydrogel on one- and two-year-old saplings of English oak *Quercus robur* L..... 508
- Gins E.M. Effect of low positive temperature on the antioxidant system formation in de-etiolated and etiolated *Amaranthus tricolor* L. seedlings grown from seeds treated with growth regulators..... 520
- Mullo Panoluisa F.E., Semenova N.A., Romanova E.V. Evaluation of different lines of vegetable soybean *Glycine max* L. Merr. under conditions of the Moscow regions..... 531

Plant protection

- Tkhorik O.V., Kharlamov V.A., Polyakova I.V., Loy N.N., Pomyasova M.G., Shishko V.I. World experience in the application of low-energy electron irradiation in agriculture 541

Agricultural technologies and land reclamation

Babichev A.N., Sidarenko D.P. Effects of precision irrigation on water regime and productivity of winter wheat554

Novikov A.E., Poddubsky A.A., Novikov A.A., Zbukarev R.V., Bogomolova N.V. Increasing efficiency of irrigation reclamation in potato and soybean agrocenoses using sludge.....566

Veterinary science

Lenchenko E.M., Tolmacheva G.S. Dynamics of morphofunctional parameters in experimental pseudomonosis of rabbits..... 580

Nazarova A.V., Semenov B.S., Kuznetsova T.S. Surgical treatment of colorectal tubular adenoma in dog..... 591



Пестициды. Взгляд в будущее Pesticides. Looking to the future

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-455-463

EDN: JLOCCD

УДК 631.67:633.11

Редакционная статья / Editorial article

Пестициды и их действие на человека и окружающую среду

В.И. Долженко¹ , А.П. Кармазин² , Т.С. Астарханова³  

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений»,
г. Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация

²Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору, г. Москва,
Российская Федерация

³Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 astarkhanova-ts@rudn.ru

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

История статьи: поступила в редакцию 25 октября 2023 г., принята к публикации 1 ноября 2023 г.

Для цитирования: Долженко В.И., Кармазин А.П., Астарханова Т.С. Пестициды и их действие на человека и окружающую среду // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 455—463. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-455-463

© Долженко В.И., Кармазин А.П., Астарханова Т.С., 2023



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

Effects of pesticides on human health and environment

Viktor I. Dolzhenko¹ , Anton P. Karmazin² , Tamara S. Astarkhanova³  

¹All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russian Federation

²Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Supervision, Moscow, Russian Federation

³RUDN University, Moscow, Russian Federation

✉ astarkhanova-ts@rudn.ru

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 25 October 2023. Accepted: 1 November 2023.

For citation: Dolzhenko VI, Karmazin AP, Astarkhanova TS. Effects of pesticides on human health and environment. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):455–463. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-455-463

Стратегия устойчивого развития сельского хозяйства предусматривает совершенствование системы земледелия и предполагает оптимальное применение пестицидов. Пестициды потенциально опасны для здоровья человека [1].

Наиболее опасны пестициды, характеризующиеся хронической токсичностью, которая связана со свойством накапливаться во всех цепях питания (вода, растительная и животная пища) — кумулятивностью.

Кумуляция характеризуется накоплением яда в организме в результате неполного разложения и вывода из организма. При функциональной токсичности, характерной для фосфорорганических препаратов, происходит «суммирование эффекта действия», попадая в организм, они «повреждают нервную систему и опасность возрастает при повторных контактах» [2].

Попадание пестицидов в организм человека происходит как при выполнении работ по защите растений, так и через растительную пищу при нарушении регламентов применения. Несмотря на то что пестициды губительны для окружающей среды, их «рациональное использование значительно повышает урожайность сельскохозяйственных культур, поэтому тема пестицидов остра и актуальна в наше время, когда планета находится на грани экологической катастрофы» [3].

Анализ движения пестицидов показал, что в 2020 г. наблюдался резкий скачок роста объема рынка, который составил 22 %. По данным Агентства плодородия в 2021 г. рост рынка химических средств защиты растений (ХСЗР) откатился до среднемировых значений в 5 %. По результатам 2021 г. «объем рынка составил 198 тыс. тонн, что на 5 % больше по сравнению с 2020 годом (188 тыс. тонн). За 5 лет рост рынка составил 31 % с показателя 2017 года в 151 тыс. тонн. Причиной роста рынка ХСЗР является, как и в 2020 году, увеличение стоимости сельскохозяйственной продукции, в особенности на пшеницу. Это позволило направить дополнительные деньги на приобретение пестицидов и агрохимикатов» [4, 5].

Анализом производства пестицидов установлена полная зависимость российского рынка пестицидов от иностранных поставок действующих веществ и препаратов, импортируемых из Китая и Индии. Из-за усиления экологического контроля в Китае было частично «приостановлено производство пестицидов, что привело к дефициту продукции на мировом рынке и росту цен. Несмотря на имеющиеся производственные мощности, возможность российских производителей средств защиты растений полностью обеспечить потребность в пестицидах остается зависимой от импортных действующих веществ» [6, 7].

У химических компаний Российской Федерации отсутствуют «необходимые технологии по производству действующих веществ. Из-за роста цен на импортные пестициды и действующие вещества в стоимостном значении российский рынок производителей и импортеров ХСЗР в 2021 г. вырос на 31 %, до 17 млрд руб. Доля российских производителей ХСЗР в 2021 г. снизилась по сравнению с 2020 г., но остается доминирующей на отечественном рынке — 52 %. Доля продаж отечественных гербицидов снизилась с 70 в 2020 г. до 64 % в 2021 г. В 2021 г. рост рынка продаж гербицидов произошел в основном за счет импортной продукции» [8, 9].

Продолжает снижаться «доля продаж инсектицидов, произведенных в Российской Федерации (с 74 % в 2017 г. до 40 % в 2021 г.). Рост доли продаж пестицидов российского производства зафиксирован только по прочим пестицидам (с 58 % в 2019 г. до 87 % в 2021 г.)» [10].

Пестициды используют при защите сельскохозяйственных культур против вредителей, болезней и сорных растений, их применение резко «снижает потери урожая сельскохозяйственных культур, сокращает затраты в сельском хозяйстве в 2–3 раза, позволяет ежегодно экономить сельскохозяйственную продукцию на 10...12 млрд руб. Но всегда стоит помнить о рисках и нежелательных эффектах. Лишь немногие страны следят за использованием пестицидов. Все требования принимаются в Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза» [11]. Основным местом скапливания пестицидов является почва, а уже оттуда вредные вещества попадают в растения и окружающую среду.

В рамках реализации поручения Правительства Российской Федерации Россельхознадзор провел мониторинг сельскохозяйственной продукции на содержание остаточных количеств пестицидов во ввозимых кофе и чае.

За июль-сентябрь 2023 г. лабораториями Россельхознадзора было исследовано 290 партий кофе из 22 стран мира и 488 партий чая из 16 стран, в результате в 14 партиях кофе было выявлено содержание остаточных количеств пестицидов. В двух партиях кофе из Индии и Бразилии выявили пестицид Перметрин в 2 и 2,5 раза выше максимально допустимого уровня (МДУ). В 13 партиях обнаружены 7 действующих веществ пестицидов, которые не имеют российских нормативов и не зарегистрированы для использования на территории Российской Федерации.

Такая же ситуация отмечена и при анализе чая на остаточное количество пестицидов. В проанализированных 91 партий чая выявлены 6 нормируемых и 36 ненормируемых российским законодательством действующих веществ пестицидов. Имеются случаи выявления нескольких десятков действующих веществ

пестицидов в незначительных количествах в одном образце, подтверждающих факты высокоинтенсивных обработок чая в местах его производства. Одновременное поступление в организм человека незначительных количеств пестицидов разного механизма действия может привести к повышению отрицательного их воздействия за счет синергизма.

В трех партиях чая из Кении, Индии и Китая обнаружены остатки действующего вещества высокотоксичного фосфорорганического пестицида Метидатиона. Он еще производится в Китае, но с 2010 г. он полностью запрещен Федеральным агентством по охране окружающей среды (EPA) США, и в 2011 г. — в Европейском союзе.

По данным Китайского национального центра оценки рисков безопасности пищевых продуктов (Пекин) в 2021 г. в 50 % исследованных образцов растениеводческой продукции выявлялись запрещенные к применению или не имеющие МДУ пестициды. Ранжирование риска обнаруженных пестицидов показало, что Метидатион и Диметоат представляют наибольший риск, так как чрезвычайно высокотоксичны, обладают способностью кумулироваться в организме и вызывать опухоли [12, 13].

В партии индийского чая обнаружены остатки фосфорорганического инсектицида монокротофоса. Монокротофос запрещен в 129 странах мира в связи с доказанной мутагенностью, способностью вызывать мутации в организме человека. Оборот препарата регулируется Роттердамской конвенцией о процедуре предварительного обоснованного согласия в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов в международной торговле [14, 15].

В партии чая из Китая был выявлен Линдан (хлорорганический пестицид), на который Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях введен международный запрет на использование в сельском хозяйстве.

Оценка риска безопасности выявленных действующих веществ при их повседневном поступлении в пищу с чаем и кофе не может быть полноценно проведена в связи с отсутствием МДУ.

Анализ по выявлению остаточных количеств пестицидов во ввозимой продукции на примере винограда показал, что все обнаруженные вещества не имеют нормативов и у препаратов на их основе истекли сроки действия регистрации в России. Выявленный в свежем винограде пестицид Амектоградин (фунгицид из класса триазолов) не нормируется, закончился срок регистрации в России и отсутствует МДУ [15]. Содержание гербицида Бифенил также не нормируется, в почве может храниться до двух лет, не установлен МДУ в винограде. Все обнаруженные пестициды (Метрафенон, Ацетамиприд, Диметоморф, Бупиримат, Дифениламин, Флювалинат и др.) относятся к 2-му классу опасности для человека и 3-му классу опасности для пчел. Некоторые из них разлагаются на несколько метаболитов, которых трудно идентифицировать. Виноград используется в пищу в свежем виде без термической обработки, что подтверждает их опасность для человека и необходимость ужесточения контроля за их содержанием и первоочередной разработки МДУ. Действующие вещества и их токсикологическая характеристика подтверждает их токсичность при поступлении в организм человека, особенно детей.

Все вышеуказанные данные подтверждают необходимость оперативного решения вопроса ввоза качественной растениеводческой продукции, особенно потребляемой в пищу в свежем виде. Этот важный показатель для здоровья человека разрабатывается Роспотребнадзором и включается СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

Для информации, в Российской Федерации, к сожалению, установлено всего 28 нормативов МДУ для чая и 25 — для кофе. В Европейском союзе нормируются МДУ для чая — 498 действующих веществ пестицидов и для кофе — 499.

Анализ показал необходимость урегулирования законодательства в сфере безопасного обращения с пестицидами и агрохимикатами и разработки МДУ пестицидов, особенно в растениеводческой продукции, которая потребляется в пищу в свежем виде.

Представленные данные обосновывают применение интегрированных систем защиты при производстве растениеводческой продукции и необходимости максимального замещения химических пестицидов биологическими препаратами российского производства в условиях импортозамещения.

Список литературы

1. Таланов Г.А. Остатки пестицидов в растениях и продукции животноводства. М., 1977. 55 с.
2. Горбатов В.С., Тихонов В.В., Астайкина А.А. Проблемы нормирования пестицидов в почве для целей их мониторинга // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Основные результаты и пути развития: тезисы докладов Всерос. науч. конф. М., 2017. С. 681–683.
3. Горбатов В.С., Кононова Т.В. Структура и формы информации о пестициде // Нива Поволжья. 2011. № 1. С. 17–21.
4. Liang J.Y., Guo S.S., You C.X., Zhang W.J., Wang C.F., Geng Z.F., Deng Z.W., Du S.S., Zhang J. Chemical Constituents and Insecticidal Activities of *Ajania fruticulosa* Essential Oil // Chem. Biodivers. 2016. Vol. 13. № 8. P. 1053–1057. doi: 10.1002/cbdv.201500377
5. ГОСТ 32424-2013. Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. Основные положения. М.: Стандартинформ. 2014. 14 с.
6. Кокорева А.А. Экспериментальное исследование и математическое моделирование миграции имидаклоприда в дерново-подзолистых почвах: дис. ... канд. биол. наук. М., 2009.
7. Колупаева В.Н., Горбатов В.С., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Изучение разложения хлорсульфурина в полевых условиях // Агрохимия. 1992. № 8. С. 105–111.
8. Колупаева В.Н., Горбатов В.С., Астайкина А.А. Прогноз концентраций пестицидов в почвах с помощью математической модели PEARL и его использование при оценке риска применения пестицидов для почвенных организмов // Агрохимия. 2017. № 2. С. 34–39.
9. Кутовая О.В. Характеристика гумусовых веществ агродерново-подзолистой почвы и копролитов дождевых червей // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2012. № 69. С. 46–59.
10. Леонова А.А., Шеин Е.В., Горбатов В.С. Миграция гербицида метрибузина в почве: лизиметрические исследования и моделирование // Почвоведение. 2003. № 6. С. 745–753.
11. Методы оценки экологической опасности пестицидов при их регистрации: руководство по классификациям экологической опасности пестицидов / под ред. В.С. Горбатова. ВНИИФ, 2010. 17 с.
12. Мониторинг пестицидов в объектах природной среды Российской Федерации в 2016 году. Обнинск: ФГБНУ «Тайфун», 2017. 74 с.
13. МУК 4.1.2785–10.4.1 от 24.11.2010 г. Определение остаточных количеств паклобутразола в воде, почве, зеленой массе, семенах и масле рапса методом капиллярной газожидкостной хроматографии.
14. Распоряжение Правительства РФ от 08.07.2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».
15. Соколов М.С., Стрекозов Б.П. Последовательность и некоторые принципы нормирования пестицидов в почве // Химия в сельском хозяйстве. 1975. Т. 13. № 7. С. 63–66.

Об авторах:

Долженко Виктор Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, руководитель Центра биологической регламентации, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Российская Федерация, 196608, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3; e-mail: dolzhenko@iczi.ru

ORCID: 0000-0003-4700-0377

Кармазин Антон Павлович — кандидат биологических наук, заместитель руководителя Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору, Российская Федерация, 107996, г. Москва, Орликов переулок, д. 1/11; e-mail: Karmazinap@mail.ru

ORCID: 0009-0005-7788-331X

Астарханова Тамара Саржановна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: astarkhanova-ts@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-1431-9309

ENG

Strategy for sustainable agricultural development involves improving farming system and involves rational use of pesticides. Pesticides are potentially dangerous to human health [1].

The most dangerous pesticides are characterized by chronic toxicity, which is associated with cumulativity — property of accumulating in all food chains (water, plant and animal food).

Cumulation is characterized by accumulation of toxins in the body as a result of incomplete decomposition and removal. Organophosphorus pesticides possess functional toxicity. After entering the organism, they damage nervous system and danger increases with repeated contacts [2].

Pesticides enter the human body both during plant protection work and through plant food when application regulations are violated. Even though pesticides are destructive to the environment, their rational use significantly increases crop productivity. Thus, the pesticide issue is acute and relevant nowadays, when the planet is on the verge of an environmental disaster [3].

An analysis of pesticide traffic showed that in 2020 there was a sharp jump in market volume growth, which amounted to 22 %. According to the Fertility Agency, in 2021 growth of the market for chemical plant protection products (CPPP) fell back to the world average of 5 %. Based on the results of 2021, the market volume amounted to 198 thousand tons, which is 5 % more than in 2020 (188 thousand tons). Over 5 years, market growth amounted to 31 % from 151 thousand tons in 2017. As in 2020, the reason for growth of chemical plant protection market is increase in cost of agricultural products, especially wheat. This allowed allocating additional money to obtain pesticides and agrochemicals [4, 5].

An analysis of pesticide production has revealed the complete dependence of Russian pesticide market on foreign supplies of active ingredients and products, imported from China and India. Due to increased environmental control in China, production of pesticides

was partially suspended, which led to shortage of products on the world market and rising prices. Despite the available production capacity, ability of Russian chemical producers to fully meet the need for pesticides remains dependent on imported active ingredients [6, 7].

Chemical companies in the Russian Federation do not have the necessary technologies for production of active ingredients. Due to rising prices for imported pesticides and active ingredients, Russian market for producers and importers of chemical pesticides grew by 31 % to 17 billion rubles in 2021. The share of Russian producers of chemical pesticides in 2021 decreased compared to 2020, but remains dominant in Russian market — 52 %. Sales of domestic herbicides decreased from 70 in 2020 to 64 % in 2021. In 2021, herbicide sales market increased mainly due to imported products [8, 9].

Sales of insecticides produced in the Russian Federation continues to decline (from 74 in 2017 to 40 % in 2021). Increase in sales of Russian pesticides was recorded only for other pesticides (from 58 in 2019 to 87 % in 2021) [10].

Pesticides are used to protect agricultural crops against pests, diseases and weeds; their use greatly reduces losses in agricultural crop yields, reduces agricultural costs by 2–3 times, and allows savings of agricultural products by 10...12 billion rubles per year. But it is always worth remembering the risks and undesirable effects. Only few countries monitor pesticide use. All requirements are adopted in the Directive of the European Parliament and of the Council [11]. The main place of pesticide accumulation is the soil, from where harmful substances enter plants and the environment.

As part of implementation of Russian Government instructions, Rosselkhoz nadzor monitored agricultural products for the residual amounts of pesticides in imported coffee and tea.

During July-September 2023, Rosselkhoz nadzor laboratories examined 290 coffee lots from 22 countries and 488 tea lots from 16 countries. As a result, 14 coffee lots were found to contain residual amounts of pesticides. The pesticide Permethrin was 2 and 2.5 times higher than the maximum allowable level (MAL) in two lots of coffee from India and Brazil. 7 active ingredients of pesticides that do not have Russian standards and are not registered for use on the territory of the Russian Federation were found in 13 lots.

The same situation was noted when analyzing tea for residual amounts of pesticides. In the analyzed 91 lots of tea, 6 active ingredients of pesticides regulated by Russian legislation and 36 active ingredients of pesticides not regulated by Russian legislation were identified. There were cases of detecting several tens of active ingredients of pesticides in small quantities in one sample, confirming facts of high-intensity treatments of tea in places of its production. Simultaneous entry of small amounts of pesticides with different modes of action into human body can lead to increase in negative effects due to synergism.

Residues of active ingredient of highly toxic organophosphorus pesticide (Methidathion) were found in three tea lots from Kenya, India and China. Methidathion is still produced in China, but since 2010 it has been completely banned by the US Environmental Protection Agency (US EPA), and in 2011 — by the European Union.

According to the China National Center for Food Safety Risk Assessment (Beijing), in 2021, 50 % of the tested samples of crop products contained pesticides that were prohibited for use or did not have MALs. Risk ranking of the detected pesticides showed that Methidathione and Dimethoate pose the greatest risk, since they are extremely toxic, and have the ability to accumulate in the body and cause tumors [12, 13].

Residues of organophosphate insecticide Monocrotophos were found in tea lot from India. Monocrotophos is banned in 129 countries due to proven mutagenicity and ability to cause mutations in humans. Circulation of the pesticide is regulated by the Rotterdam Convention on the Prior Informed Consent Procedure for Certain Hazardous Chemicals and Pesticides in International Trade [14, 15].

Lindane (organochlorine pesticide), which was internationally banned for use in agriculture by the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants, was identified in tea lot from China.

Safety risk assessment of the identified active ingredients when they are consumed daily with tea and coffee cannot be fully carried out due to the lack of MALs.

Pesticide residue analysis of imported products (grapes) showed that all detected substances do not have standards. Moreover, for products based on these active ingredients, the registration in Russia has expired. The pesticide Ametoctrazine (triazole fungicide) identified in fresh grapes is not standardized, registration in Russia has expired and there is no MAL [15]. Content of Biphenyl herbicide is also not standardized; it can remain in soil for up to two years; MAL in grapes has not been established. All detected pesticides (Metraphenone, Acetamiprid, Dimethomorph, Bupirimate, Diphenylamine, Fluvalinate, etc.) belong to the 2nd hazard class for humans and the 3rd hazard class for bees. Some of them degrade into several metabolites that are difficult to identify. Grapes are used fresh for food without heat treatment, which confirms pesticide danger to humans and the need to tighten control over their content and prioritize development of MALs. The active ingredients and their toxicological characteristics confirm their toxicity for humans, especially children.

All the above data require prompt actions in solving issue of importing high-quality crop products, especially those consumed fresh. This important indicator for human health is developed by Rospotrebnadzor and included in SanPiN no. 1.2.3685–21 (Hygienic standards and requirements for ensuring safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans).

Unfortunately, it should be noted that only 28 MAL standards have been established for tea and 25 — for coffee in the Russian Federation. In the European Union, there are 498 MALs for pesticide active ingredients in tea and 499 — in coffee.

The analysis showed the need to regulate legislation for safe handling of pesticides and agrochemicals and development of MALs for pesticides, especially in plant products that are consumed fresh.

The data presented substantiate the use of integrated protection systems in production of plant products and the need for maximum replacement of chemical pesticides with Russian biological agents in conditions of import substitution.

References

1. Talanov GA. *Ostatki pestitsidov v rasteniyakh i produkcii zhivotnovodstva* [Pesticide residues in plants and livestock products]. Moscow; 1977. (In Russ.).
2. Gorbatov VS, Tikhonov VV, Astaikina AA. Problems of pesticide rationing in soil for the purposes of their monitoring. In: *Monitoring of the state and pollution of the environment. The main results and ways of development*. Moscow; 2017. p.681–683. (In Russ.).
3. Gorbatov VS, Kononova TV. Structure and forms of information about a pesticide. *Niva Povolzhya*. 2011;(1):17–21. (In Russ.).
4. Liang JY, Guo SS, Yu KH, Zhang VJ, Wang KF, Geng ZF, et al. Chemical components and insecticidal activity of *Ajanía fruticulosa* essential oil. *Chemistry and Biodiversity*. 2016;13(8):1053–1057. doi: 10.1002/cbdv.201500377
5. Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. GOST 32424–2013. *Classification of hazard chemical products by environmental impact. Basic provisions*. Moscow: Standartinform publ.; 2014. (In Russ.).
6. Kokoreva AA. *Eksperimental'noe issledovanie i matematicheskoe modelirovanie migratsii imidakloprida v derno-podzolistykh pochvakh* [Experimental study and mathematical modeling of imidacloprid migration in sod-podzolic soils]. Moscow; 2009. (In Russ.).
7. Kolupaeva VN, Gorbatov VS, Spiridonov YY, Shestakov VG. Studying the decomposition of chlorosulfuron in the field. *Agrohimia*. 1992;(8):105–111. (In Russ.).
8. Kolupaeva VN, Gorbatov VS, Astaikina AA. The forecast of pesticide concentrations in soils by simulation model PEARL and its application for risk assessment of pesticide for soil organisms. *Agrohimia*. 2017;(2):34–39. (In Russ.).
9. Kutovaya OV. Characteristics of humus and coprolites of earthworms in agro-soddy podzolic soils. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2012;(69):46–59. (In Russ.). doi: 10.19047/0136-1694-2012-69-46-59
10. Leonova AA, Shein EV, Gorbatov VS. Migration of herbicide metribuzin in the soil: lysimetric study and simulation. *Eurasian soil science*. 2003;36(6):669–676. (In Russ.).
11. Gorbatov VS. *Metody otsenki ekologicheskoi opasnosti pestitsidov pri ikh registratsii: rukovodstvo po klassifikatsiyam ekologicheskoi opasnosti pestitsidov* [Methods of assessing the environmental hazard of pesticides during their registration: guide to classifications of environmental hazards of pesticides]. Bolshie Vyazemy; 2010. (In Russ.).
12. *Monitoring pestitsidov v ob»ektakh prirodnoi sredy Rossiiskoi Federatsii v 2016 godu* [Monitoring of pesticides in the natural environment of the Russian Federation in 2016]. Obninsk: Taifun; 2017. (In Russ.).
13. Instructional guidelines no. 4.1.2785–10.4.1 dated 24.11.2010. *Opredelenie ostatkovykh kolichestv paklobutrazola v vode, pochve, zelenoi masse, semenakh i masle rapsa metodom kapillyarnoi gazozhidkostnoi khromatografii* [Determination of residual amounts of paclobutrazole in water, soil, green mass, seeds and rapeseed oil by capillary gas-liquid chromatography]. (In Russ.).
14. Government Order of the Russian Federation no. 1316-r dated 08.07.2015. *Ob utverzhdenii perechnya zagryaznyayushchikh veshchestv, v otoshenii kotorykh primenyayutsya mery gosudarstvennogo regulirovaniya v oblasti okhrany okruzhayushchei sredy* [On approval of the list of pollutants in respect of which state regulation measures in the field of environmental protection are applied. (In Russ.).
15. Sokolov MS, Strekozov BP. Sequence and some principles of pesticide rationing in soil. *Chemistry in agriculture*. 1975;13(7):63–66.

About authors:

Dolzhenko Viktor Ivanovich — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Center for Biological Regulation, All-Russian Institute of Plant Protection, 3 Podbelskogo highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608, Russian Federation; e-mail: dolzhenko@icrz.ru
ORCID: 0000-0003-4700-0377

Karmazin Anton Pavlovich — Candidate of Biological Sciences, Deputy Head of the Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Supervision, 1/11 Orlikov lane, Moscow, 107996, Russian Federation; e-mail: Karmazinap@mail.ru
ORCID: 0009-0005-7788-331X

Astarkhanova Tamara Sarzhanovna — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Agrobiotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: astarkhanova-ts@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-1431-9309



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-464-474

EDN: JSCXMC

УДК 632.954:633.15

Научная статья / Research article

Эффективность и безопасность комбинированного гербицида Аврора, МД для защиты кукурузы

А.В. Березнов¹ , И.Р. Астарханов² , Т.Н. Ашурбекова²  , А. Бехзад³ 

¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,
г. Москва, Российская Федерация

²Дагестанский государственный аграрный университет, г. Махачкала, Российская Федерация

³Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 ashtam72@yandex.ru

Аннотация. В течение двух вегетационных сезонов 2021–2022 гг. в Московской и Ростовской областях и Республике Дагестан проводили полевые мелкоделяночные опыты с гербицидом Аврора, МД (100 г/л мезотриона + 80 г/л амикарбазона + 60 г/л никосульфурона + 5 г/л аминопиралаида). Установлена высокая биологическая эффективность внесения препарата Аврора, МД в фазе 3–6 листьев кукурузы и ранние фазы роста сорных растений кукурузы. Определены оптимальные нормы применения препарата в зависимости от типа засоренности посевов и сроки проведения защитных мероприятий, а также чувствительность отдельных видов сорных растений при опрыскивании для борьбы с однолетними и многолетними сорными растениями. Увеличение эффективности влияния препарата на количество и массу сорных растений отмечено при повышении нормы применения испытываемого гербицида до 1,0 л/га и достигало 92,4...97,9 и 92,4...97,8 % соответственно. Засоренность посевов в контроле к уборке урожая снизилась до 16...17 экз./м², а в вариантах с гербицидами не превышала 8 экз./м². Отмечена высокая урожайность зеленой массы в первой и зерна кукурузы во второй и третьей почвенно-климатических зонах во всех вариантах опыта. Использование гербицида в ранние фазы роста сорных растений по вегетирующим растениям кукурузы не оказывает отрицательного влияния на растения культуры и способствует получению прибавок урожая до 53,7...56,2 % при возделывании кукурузы на зерно и до 138,5 % — на зеленую массу.

Ключевые слова: сорные растения, мезотрион, масса, урожайность, амикарбазон, аминопиралаид

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

История статьи: поступила в редакцию 13 сентября 2023 г., принята к публикации 6 октября 2023 г.

© Березнов А.В., Астарханов И.Р., Ашурбекова Т.Н., Бехзад А., 2023



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

Для цитирования: Березнов А.В., Астарханов И.Р., Ашурбекова Т.Н., Бехзад А. Эффективность и безопасность комбинированного гербицида Аврора, МД для защиты кукурузы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 464–474. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-464-474

Efficiency and safety of combined herbicide Avrora, OD for corn protection

Aleksey V. Bereznov¹ , Ibragim R. Astarkhanov² ,
Tamila N. Ashurbekova²  , Abdulla Behzad³ 

¹Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

²Dagestan State Agrarian University, Republic of Dagestan, Russian Federation

³RUDN University, Moscow, Russian Federation

 ashtam72@yandex.ru

Abstract. Field small-plot experiments were carried out in the Moscow region, Rostov region and the Republic of Dagestan in 2021–2022. Herbicide Avrora, OD (100 g/l mesotrione + 80 g/l amicarbazone + 60 g/l nicosulfuron + 5 g/l aminopyralid) was studied during the two growing seasons. The high biological efficiency of Avrora, OD at the stage of 3–6 leaves of corn and the early growth stages of weeds was established. The optimal herbicide rates, the timing of protective measures, and the sensitivity of certain types of weeds were determined depending on the type of weed in crops to combat annual and perennial weeds. The increased application rate of the tested herbicide up to 1.0 l/ha led to an increase in the effectiveness of the pesticide in the number and weight of weeds and was 92.4...97.9 and 92.4...97.8 %, respectively. By the harvesting time, infestation of corn crops in the control decreased to 16...17 plants/m². In the variants with herbicides, infestation of crops did not exceed 8 plants/m². High yields of green mass in the first zone and corn grains in the second and third soil-climatic zones were noted in all tested experimental variants. The use of Avrora herbicide in the early phases of weed growth on vegetative corn plants does not have a negative effect on crop plants and contributes to yield increases of up to 53.7...56.2 % when cultivating grain corn and up to 138.5 % when cultivating green mass corn.

Keywords: Weeds, mesotrione, weight, yield, amicarbazone, aminopyralide

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 13 September 2023. Accepted: 6 October 2023.

For citation: Bereznov AV, Astarkhanov IR, Ashurbekova TN, Behzad A. Efficiency and safety of combined herbicide Avrora, OD for corn protection. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):464–474. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-464-474

Введение

Кукуруза — уникальная сельскохозяйственная культура, обладающая высокой потенциальной урожайностью и универсальностью использования. Общая «урожайность кукурузы оценивается в 60 ц/га, что на 14 % выше, чем в сезоне 2021/22, и общая уборочная площадь оценивается в 2,6 млн га, что на 9 % меньше, чем

в 2021/22 году»¹ [1–3]. Один из факторов повышения урожайности ценнейшей культуры — проведение «защитных мероприятий от сорных растений наравне с повышением плодородия почв за счет внесения удобрений» [4, 5]. Обработка посевов кукурузы современными гербицидами, обладающими высокой эффективностью и безопасностью для людей и окружающей среды, применяется наряду с другими приемами в защитных мероприятиях при выращивании кукурузы [6–8]. Анализ структуры посевных площадей и урожайности зерновых культур показал, что «урожайность кукурузы можно поднять в 1,5–2 раза» [9–11]. Совершенствовать «ассортимент применяемых гербицидов можно за счет использования комбинированных препаратов, за счет расширения спектра целевых объектов и степени их снижения» [12–15].

Цель исследований — оценка биологической эффективности современного комбинированного препарата Аврора, МД и его влияние на повышение урожайности кукурузы.

Материалы и методы исследования

Исследования по оценке эффективности гербицида Аврора, МД проводили на сортах Краснодарский 291, Донская высокорослая и Воронежский 230 СВ на 4 учетных площадках размером 25 м² в соответствии с «Методическими указаниями по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве»² [8, 9].

Повторность — четырехкратная, расположение делянок в опыте — рендомизированное в пределах повторений» [9]. Посевы обрабатывали гербицидом Аврора, МД однократно за вегетационный период в фазе 3–6 листьев кукурузы и ранние фазы роста сорных растений (2–6 листьев у однолетних и при высоте 10...20 см у многолетних видов) в нормах 0,5; 0,75 и 1,0 л/га. В качестве эталона использовали Элюмис, МД (75 г/л мезотрион +30 г/л никосульфурон) в норме 2,0 л/га и Суперкорн, МД (150 г/л мезотрион +60 г/л никосульфурон + 11,25 г/л тифенсульфурон-метил) в норме 1,0 л/га. Обработку препаратом проводили с помощью ранцевого пневматического опрыскивателя «Соло 425» из расчета расхода рабочей жидкости 300 л/га [9].

Учет засоренности и биологической эффективности гербицида проводили на 4 учетных площадках размером 0,25 м² на каждой делянке опыта количественно-весовым методом в соответствии с «Методическими указаниями по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве» (СПб., 2013)³ [8] и «Методическими рекомендациями по проведению регистрационных испытаний гербицидов» (СПб., 2020)⁴ [9]. Уборку урожая кукурузы осуществляли вручную, полученные

¹ Урожай кукурузы в России в сезоне 2022/23 вырос на 4 % — FAS USDA // Агробизнес. Режим доступа: <https://agbz.ru/news/urozhay-kukuruzy-v-rossii-v-sezone-2022-23-vyros-na-4-fas-usda>

² Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Долженко, В.Н. Ракитского. СПб, 2021.

³ Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Долженко, В.Н. Ракитского. СПб, 2013.

⁴ Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов / под ред. В.И. Долженко, В.Н. Ракитского. СПб, 2020.

данные подвергали статистической обработке методом однофакторного дисперсионного анализа с расчетом НСР 0,5 [11].

Результаты исследования и обсуждение

Среди злаковых сорных растений на учетных делянках в период исследований отмечены следующие распространенные виды: просо куриное (*Echinochloa crusgalli* L. Beauv.), щетинники сизый (*Setaria glauca* L. Beauv.) и зеленый (*Setaria viridis* L. Beauv.), шерстняк волосистый (*Eriochloa villosa* Thunb. Kunth), из однолетних двудольных — щирица обыкновенная (*Amaranthus retroflexus* L.), акалифа южная (*Acalypha australis* L.), пикульник двунадрезанный (*Haleopsis bifida* Boenn.), амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.), канатник Теофраста (*Abutilon theophrasti* Medik), сигезбекия пушистая (*Siegesbeckia pubescens* Makino). Так же ранее отмечено, что «из сдерживающих рост производства зерна кукурузы из многолетних сорняков встречались виды полыни (*Artemisia* spp.), бодяк щетинистый (*Cirsium setosum* Willd), осот полевой (*Sonchus arvensis* L.), а также пырей ползучий (*Elytrigia repens* L. Nevski)» [8, 9].

Нами изучалась эффективность гербицида Аврора, МД содержащего в своем составе 4 действующие вещества — амикарбазон 60 г/л, мезотрион 100 г/л, никосульфурон 60 г/л и аминопиралид 5 г/л, обладающие ярко выраженной почвенной активностью, за счет чего могут сдерживать прорастание последующих «волн» сорных растений.

Действующее вещество амикарбазон из группы триазинонов обладает селективным действием, является ингибитором фотосинтеза, вызывая некрозы меристематических тканей с последующим их отмиранием.

Мезотрион ингибирует биосинтез каротиноидов, при котором происходит деградация хлорофилла и обесцвечивание растений с последующей их гибелью.

Никосульфурон из химического класса сульфонилмочевины «ингибирует образование фермента ацетолататсинтазы, участвующего в синтезе незаменимых аминокислот. Действующее вещество обладает системным действием, быстро проникает в растения сорняков и останавливает их рост» [13].

Аминопиралид — синтетический ауксин обладает «системным ауксиноподобным эффектом и широким спектром действия и имеет почвенную активность против сорных растений в течение четырех недель» [4, 5].

Наличие многокомпонентного состава обусловило, что Аврора, МД как «системный избирательный послевсходовый гербицид, активно воздействует на однолетние и многолетние злаковые, а также двудольные сорные растения, произрастающие в посевах кукурузы» [8, 9]. Обладает почвенным действием, легко поглощается листьями и корнями, перемещается в растениях как по ксилеме, так и по флоэме. Гербицид с широким диапазоном опрыскивания посевов в фазе кущения культуры и ранних фазах роста сорняков.

Исходная засоренность посевов кукурузы в первой климатической зоне была высокой (40...45 экз./м²). На опытных участках встречались растения торицы

полевой, воробейника полевого, пастушьей сумки обыкновенной, ромашки непахучей и фиалки полевой. В течение 1,5 месяцев после внесения 0,5 л/га гербицида Аврора, МД снижение общего количества сорных растений в первой зоне составляло 71,7...69,5 %, снижение массы — 75,0...73,2 %. Повышение нормы применения испытываемого гербицида до 0,75 л/га сопровождалось увеличением его эффективности по влиянию на количество сорных растений до 78,3...76,8 %, на массу — до 80,5...76,5 %. Наибольший эффект отмечен в норме расхода 1,0 л/га гербицида, снижение количества сорных растений составило 95,6...92,6 %, снижение массы сорных растений — 96,2...92,6 %. К уборке урожая засоренность посевов в контроле повысилась до 95 экз./м². В вариантах с гербицидами засоренность посевов не превышала 29 экз./м². Наибольшее воздействие на сорные растения оказал гербицид Аврора, МД при норме расхода 1,0 л/га: засоренность посевов не превышала 7 экз./м². В связи с обильными дождями после посева кукурузы во второй почвенно-климатической зоне исходная засоренность соответствовала 250...257 экз./м².

Снижение общего количества сорных растений на 30-й день учета после внесения гербицида Аврора, МД в фазу куцения культуры в норме расхода 0,5 л/га составляло 75,1...78,9 %, снижение массы сорных растений достигало 75,1...79,6 %. Повышение нормы испытываемого гербицида до 1,0 л/га сопровождалось увеличением эффективности его влияния на количество и массу сорняков до 93,4 и 93,4...97,2 % соответственно. Преимущество испытываемого гербицида Аврора, МД 1,0 л/га над эталонами заключалось в более сильном действии на растения щетинника зеленого — 99,7 %.

До обработки на контрольных участках в третьей зоне исходная засоренность посевов кукурузы была высокой — 288 экз./м². При внесении гербицида Аврора, МД в норме расхода 0,75 л/га на 30-й день учета на опытных делянках снижение общего количества сорных растений составляло 85,4...89,4 %, снижение массы сорных растений достигало 85,4...89,3 %. Существенное увеличение его эффективности по влиянию на количество и массу сорных растений отмечено при повышении нормы применения испытываемого гербицида до 1,0 л/га. Эффективность испытываемого гербицида достигало 92,4...97,9 % и 92,4...97,8 % соответственно. К уборке урожая засоренность посевов в контроле снизилась до 16...17 экз./м². В вариантах с гербицидами засоренность посевов не превышала 8 экз./м² (табл. 1).

В первой зоне учитывали урожайность зеленой массы, во второй и третьей — зерна кукурузы. Во всех вариантах применения гербицида Аврора, МД по вегетирующей культуре в фазе 3–6 листьев кукурузы и в ранние фазы роста сорных растений (2–6 листьев у однолетних и при высоте 10–20 см у многолетних видов) установили урожайность, достоверно превышающую контроль. В первой зоне урожайность зеленой массы превысила контроль на 13,5...38,5 %.

Таблица 1

Биологическая эффективность гербицида Аврора, МД на посевах кукурузы сортов Краснодарский 291, Донская высокорослая и Воронежский 230 СВ

Варианты опыта	Даты учетов после обработки	Снижение, % к контролю			Масса сорных растений, г/м ²		
		1-я зона	2-я зона	3-я зона	1-я зона	2-я зона	3-я зона
1. Аврора, МД – 0,5 л/га	30 дней	71,7	75,1	76,4	125,5	204,8	217,6
	45 дней	70,3	77,1	77,2	171,7	76,8	89,6
	К уборке урожая	69,5	78,9	80,6	257,4	24,8	28,8
2. Аврора, МД – 0,75 л/га	30 дней	78,3	85,2	85,4	97,6	121,6	130,2
	45 дней	76,6	87,6	87,8	148,5	40,3	48,0
	К уборке урожая	76,8	89,5	89,4	225,6	12,4	15,6
3. Аврора, МД – 1,0 л/га	30 дней	95,6	93,4	92,4	19,3	54,4	68,2
	45 дней	93,8	96,2	94,3	39,2	12,4	21,7
	К уборке урожая	92,6	97,1	97,9	70,7	3,2	3,2
4. Элюмис, МД (эталон) – 2,0 л/га	30 дней	84,8	90,3	90,6	70,9	77,5	83,7
	45 дней	84,4	92,4	92,7	92,9	25,6	27,9
	К уборке урожая	81,1	94,7	95,7	178,2	6,2	6,3
5. Суперкорн, МД (эталон) – 1,0 л/га	30 дней	78,3	83,6	84,4	101,5	134,4	144,0
	45 дней	76,6	85,7	85,4	149,7	46,3	55,8
	К уборке урожая	75,8	86,8	87,2	232,3	15,5	18,6
Контроль	30 дней	–	–	–	501,4	822,4	892,8
	45 дней	–	–	–	646,4	336,0	381,3
	К уборке урожая	–	–	–	959,5	121,6	145,7

Table 1

Biological efficiency of Avrora herbicide on corn crops cv. Krasnodarsky 291, cv. Donskaya vysokoroslaya and cv. Voronezhsky 230 SV

Variants	Days after application	Decreased compared to control, %			Weed mass, g/m ²		
		1 st zone	2 nd zone	3 rd zone	1 st zone	2 nd zone	3 rd zone
1. Avrora, OD – 0.5 L/ha	30 days	71.7	75.1	76.4	125.5	204.8	217.6
	45 days	70.3	77.1	77.2	171.7	76.8	89.6
2. Avrora, OD – 0.75 L/ha	Before harvesting	69.5	78.9	80.6	257.4	24.8	28.8
	30 days	78.3	85.2	85.4	97.6	121.6	130.2
3. Avrora, OD – 1.0 L/ha	45 days	76.6	87.6	87.8	148.5	40.3	48.0
	Before harvesting	76.8	89.5	89.4	225.6	12.4	15.6
4. Elyumis, OD (standard) – 2.0 L/ha	30 days	95.6	93.4	92.4	19.3	54.4	68.2
	45 days	93.8	96.2	94.3	39.2	12.4	21.7
5. Supercorn, OD (standard) – 1.0 L/ha	Before harvesting	92.6	97.1	97.9	70.7	3.2	3.2
	30 days	84.8	90.3	90.6	70.9	77.5	83.7
Control	45 days	84.4	92.4	92.7	92.9	25.6	27.9
	Before harvesting	81.1	94.7	95.7	178.2	6.2	6.3
Control	30 days	78.3	83.6	84.4	101.5	134.4	144.0
	45 days	76.6	85.7	85.4	149.7	46.3	55.8
Control	Before harvesting	75.8	86.8	87.2	232.3	15.5	18.6
	30 days	–	–	–	501.4	822.4	892.8
Control	45 days	–	–	–	646.4	336.0	381.3
	Before harvesting	–	–	–	959.5	121.6	145.7

Во второй и третьей почвенно-климатических зонах при возделывании кукурузы на зерно превышение урожайности достигало 56,2 и 53,7 % соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность кукурузы при использовании гербицида Аврора, МД

Варианты опыта	Средняя урожайность					
	1-я зона (зеленая масса)		2-я зона		3-я зона	
	ц/га	% к контролю	ц/га	% к контролю	ц/га	% к контролю
Аврора, МД – 0,5 л/га	52,2	113,5	28,8	127,4	29,3	127,9
Аврора, МД – 0,75 л/га	55,4	120,4	29,9	132,3	33,7	147,2
Аврора, МД – 1,0 л/га	63,7	138,5	35,3	156,2	35,2	153,7
Элюмис, МД (эталон) – 2,0 л/га	61,2	133,0	26,1	115,5	26,4	115,3
Суперкорн, МД (эталон) – 1.0 л/га	59,1	128,5	27,1	119,9	27,0	117,9
Контроль	46,0	100	22,6	100	22,9	100

Table 2

Corn productivity after using Avrora herbicide, OD

Variants	Average yield					
	1 st zone (green mass)		2 nd zone		3 rd zone	
	c/ha	% to control	c/ha	% to control	c/ha	% to control
Avrora, OD – 0.5 L/ha	52.2	113.5	28.8	127.4	29.3	127.9
Avrora, OD – 0.75 L/ha	55.4	120.4	29.9	132.3	33.7	147.2
Avrora, OD – 1.0 L/ha	63.7	138.5	35.3	156.2	35.2	153.7
Elyumis, OD (standard) – 2.0 L/ha	61.2	133.0	26.1	115.5	26.4	115.3
Supercorn, OD (standard) – 1.0 L/ha	59.1	128.5	27.1	119.9	27.0	117.9
Control	46.0	100	22.6	100	22.9	100

Заключение

Результаты исследований в трех почвенно-климатических зонах России позволяют сделать следующие выводы.

1. Применение многокомпонентного гербицида Аврора, МД в норме 0,5...1,0 л/га в фазе 3–6 листьев кукурузы и ранние фазы роста сорных растений (2–6 листьев у однолетних и при высоте 10–20 см у многолетних видов) способно снижать засоренность посевов кукурузы однолетними и многолетними двудольными и злаковыми сорными растениями до 100 %.

2. Композиция различных действующих веществ (мезотриона, амикарбазона, никосульфурона и иминопираллида) в составе препарата Аврора, МД усиливает

действие обработки на отдельные виды сорных растений в зависимости от почвенно-климатической зоны исследований по сравнению с действием двухкомпонентного гербицида эталона.

3. Опрыскивание посевов гербицидом Аврора, МД целесообразно проводить в фазе 3–6 листьев кукурузы и ранние фазы роста сорных растений.

4. Использование гербицида в ранние фазы роста сорных растений по вегетирующим растениям кукурузы не оказывает отрицательного влияния на растения культуры и способствует получению достоверных прибавок урожая до 53,7...56,2 % при возделывании кукурузы на зерно и до 138,5 % при возделывании на зеленую массу.

Список литературы

1. Маханькова Т.А., Долженко В.И., Голубев А.С. Формирование ассортимента гербицидов в России // *Агрохимия*. 2022. № 11. С. 50–61. doi: 10.31857/S0002188122110084
2. Zargar M., Kavhiza N.J., Bayat M., Pakina E. Wild Mustard (*Sinapis arvensis*) Competition and Control in Rain-Fed Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Agronomy*. 2021. № 11(11). doi: 10.3390/agronomy11112306
3. Церетели И.С., Агаронян А.Г. Удобрения и гербициды на посевах кукурузы // *Защита и карантин растений*. 2019. № 10. С. 28.
4. Спиридонов Ю.Я., Будынков Н.И., Сайфуллин Р.Г., Стрижков Н.И., Атаев С.Х., Суминова Н.Б., Даулетов М.А., Ленович Д.Р. Комплексные меры борьбы с вредными организмами, водный и пищевой режим в посевах кукурузы и овса на черноземах Поволжья // *Аграрный научный журнал*. 2016. № 5. С. 31–34.
5. Маханькова Т.А., Голубев А.С. Гербициды для кукурузы // *Защита и карантин растений*. 2018. № 2. С. 37–64.
6. Колесник С.А., Сташкевич А.В., Сорока Л.И. Комбинированные гербициды для защиты посевов кукурузы в Беларуси // *Защита растений*. 2016. № 40. С. 43–51.
7. Савва А.П., Есипенко Л.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А. Новый комбинированный гербицид Корнеги для защиты посевов кукурузы // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 10. С. 34–41. doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-34-41
8. Маханькова Т.А., Голубев А.С. Визион, ВДГ-гербицид для защиты кукурузы // *Защита и карантин растений*. 2023. № 3. С. 10–13.
9. Чернуха В.Г., Редюк С.И., Маханькова Т.А. Гербицид Кабуки, КЭ и его использование на посевах зерновых культур // *Защита растений от вредных организмов: материалы X Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию Кубанского гос. аграрного ун-та*. Краснодар, 2021. С. 398–401.
10. Голубев А.С., Маханькова Т.А., Комарова А.С. Эффективность и безопасность применения гербицида Кельвин Плюс в посевах кукурузы в разных фазах развития культуры // *Агрохимия*. 2021. № 3. С. 38–44. doi: 10.31857/S000218812103008X
11. Маханькова Т.А., Долгих А.В. Адьюванты и их применение // *Защита и карантин растений*. 2020. № 11. С. 37–64.
12. Захаренко В.А., Ченкин А.Ф., Исаев В.В. Рекомендации по повышению эффективности использования гербицидов в сельском хозяйстве. М., 1987. 57 с.
13. Жуков В.Н. Комплексная вредоносность сорняков полевого севооборота Каменной Степи (ЦЧП): дис. ... канд. биол. наук. М.; Санкт-Петербург, 2003.
14. Стрижков Н.И. Интегрированные системы защиты сельскохозяйственных культур от сорной растительности в полевых севооборотах черноземной степи Поволжья: дис. ... д-ра с-х. наук. СПб., 2007.
15. Фадеева Е.Ф. Биологические особенности яровых поздних мятликовых сорняков и меры борьбы с ними в посевах яровой пшеницы в лесостепной зоне Курганской области: дис. ... канд. с-х. н. Курган, 2002.

References

1. Makhankova TA, Dolzhenko VI, Golubev AS. Formation of an assortment of herbicides in Russia. *Agrochimia*. 2022;(11):50–61. (In Russ.). doi: 10.31857/S0002188122110084

2. Zargar M, Kavhiza NJ, Bayat M, Pakina E. Wild mustard (*Sinapis arvensis*) competition and control in rain-fed spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*. 2021;11(11):2306. doi: 10.3390/agronomy11112306
3. Tsereteli IS, Agaronian AG. Fertilizers and herbicides on corn. *Plant protection and quarantine*. 2019;(10):28. (In Russ.).
4. Spiridonov YY, Budynkov NI, Sayfullin RG, Strizhkov NI, Ataev SK, Suminova NB, et al. Integrated pest control, water and nutrient status in corn and oats plantings on chernozems in Povolzhye. *The Agrarian Scientific Journal*. 2016;(5):31–34. (In Russ.).
5. Makhankova TA, Golubev AS. Herbicides for corn. *Plant protection and quarantine*. 2018;(S2):37–64. (In Russ.).
6. Kolesnik SA, Stashkevich AV, Soroka LI. Combined herbicides for corn crops protection in Belarus. *Zashchita rastenii*. 2016;(40):43–51. (In Russ.).
7. Savva AP, Esipenko LP, Telezhenko TN, Suvorova VA. New combined herbicide Kornegy for protecting corn crops. *Bulletin of KSAU*. 2020;(10):34–41. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-34-41
8. Makhankova TA, Golubev AS. Vision, VDG-herbicide for corn protection. *Plant protection and quarantine*. 2023;(3):10–13. (In Russ.).
9. Chernukha VG, Redyuk SI, Makhankova TA. Herbicide Kabuki, EC and its use in cereal crops. In: *Protection of plants from harmful organisms: conference proceedings*. Krasnodar; 2021. p.398–401. (In Russ.).
10. Golubev AS, Makhankova TA, Komarova AS. Efficiency and safety of application of herbicide Kelvin Plus in corn at different crop stage. *Agrohimia*. 2021;(3):38–44. (In Russ.). doi: 10.31857/S000218812103008X
11. Makhankova TA, Dolgikh AV. Adjuvants and their application. *Plant protection and quarantine*. 2020;(11):37–64. (In Russ.).
12. Zakharenko VA, Chenkin AF, Isaev VV. *Rekomendatsii po povysheniyu effektivnosti ispol'zovaniya gerbitsidov v sel'skom khozyaistve* [Recommendations for improving the efficiency of the use of herbicides in agriculture]. Moscow; 1987. (In Russ.).
13. Zhukov VN. *Kompleksnaya vredonosnost' sornyakov polevogo sevooborota Kamennoi Stepi* [Complex harmfulness of weeds of the field crop rotation of the Stone Steppe]. Moscow; 2003. (In Russ.).
14. Strizhkov NI. *Integrirovannye sistemy zashchity sel'skokhozyaistvennykh kul'tur ot sornoi rastitel'nosti v polevykh sevooborotakh chernozemnoi stepi Povolzh'ya* [Integrated systems of crop protection from weeds in field crop rotations of the chernozem steppe of the Volga region]. Saint-Petersburg; 2007. (In Russ.).
15. Fadeeva EF. *Biologicheskie osobennosti yarovykh pozdnikh myatlikovykh sornyakov i mery bor'by s nimi v posevakh yarovoi pshenitsy v lesostepnoi zone Kurganskoi oblasti* [Biological features of late spring bluegrass weeds and measures to combat them in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Kurgan region]. Kurgan; 2002. (In Russ.).

Об авторах:

Березнов Алексей Владимирович — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела агротехнологий, ФГБНУ ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а; e-mail: bereznov@yandex.ru
ORCID: 0009-0001-4061-802X

Астарханов Ибрагим Рустамханович — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экологии и защиты растений, Дагестанский государственный аграрный университет, 367032, Российская Федерация, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Магомета Гаджиева, д. 180; e-mail: ibr-ast@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3559-2635

Ашурбекова Тамила Насировна — кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедры экологии и защиты растений, Дагестанский государственный аграрный университет, 367032, Российская Федерация, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Магомета Гаджиева, д. 180; e-mail: ashtam72@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-0318-2105

Бехзад Абдулла — аспирант агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 17198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: abd.behzad2@gmail.com
ORCID: 0000-0003-0454-9941 Scopus ID: 57823191400

About authors:

Bereznov Aleksey Vladimirovich — Candidate of Agricultural Sciences, researcher, Department of Agricultural Technologies, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, 31a Pryanishnikova st. Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: bereznov@yandex.ru

ORCID: 0009-0001-4061-802X

Astarkhanov Ibragim Rustamkhanovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Ecology and Plant Protection, Dagestan State Agrarian University, 180 Magometa Gadzhieva st., Makhachkala, Republic of Dagestan, 367032, Russian Federation; e-mail: ibr-ast@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3559-2635

Ashurbekova Tamila Nasirovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Department of Ecology and Plant Protection, Dagestan State Agrarian University, 180 Magometa Gadzhieva st., Makhachkala, Republic of Dagestan, 367032, Russian Federation; e-mail: ashtam72@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-0318-2105

Behzad Abdulla — postgraduate student, Department of Agrobiotechnology, Agricultural Technological Institute, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: abd.behzad2@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0454-9941 Scopus ID: 57823191400



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-475-484

EDN: JTBZDL

УДК 632.952

Научная статья / Research article

Разработка и синтез соединений с фунгицидной активностью в подавлении роста грибов

Ф.Д. Дахаева¹ , С. Бахман² , М.С. Гинс^{2,3}  , М. Баят² ¹Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, г. Грозный, Российская Федерация²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация³Федеральный научный центр овощеводства, Московская обл., Российская Федерация
 gins-ms@rudn.ru

Аннотация. Проведено исследование с целью синтеза и изучения фунгицидной активности синтезированных химических соединений различных классов, в частности триазола и имидазола, ввиду широкого спектра действия и малых норм расхода. Разработанными методами синтеза получены несколько групп азотсодержащих гетероциклических соединений и проведена оценка их фунгицидной активности. Проверена ингибирующая активность соединений к штаммам грибов *Fusarium solani* (штамм, обладающий средней устойчивостью к фунгицидам) и *Sclerotinia sclerotiorum* (штамм, восприимчивый к большинству фунгицидов) из коллекции культур фитопатогенных микроорганизмов агробиотехнологического департамента РУДН. При синтезе новых химических соединений, обладающих фунгицидной активностью, установлены и структурно подтверждены производные мочевины 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1*H*-пиразол-5-ил)-3-(2-хлорфенил) мочевины. Все целевые соединения оценивались на их противогрибную активность по ингибированию роста мицелия. Предварительные результаты скрининга показали, что все синтезированные соединения обладают хорошей фунгицидной активностью в отношении *S. sclerotiorum*. Соединение 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1*H*-пиразол-5-ил)-3-(3-фторфенил) мочевины проявляла противогрибную активность в отношении *S. sclerotiorum*. В концентрации 100 ppm соединение подавляло рост штамма *S. sclerotiorum* на 90,5 %. Эксперимент *in vitro* выявил, что соединение 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1*H*-пиразол-5-ил)-3-(3-фторфенил) мочевины было эффективным для подавления склеротиниозной гнили — *S. Sclerotiorum* — в дозе 100 мг/л. Значимость исследований состоит в том, что производство экологически безопасной продукции в агропромышленном комплексе невозможно без разработки новых биологически активных соединений, обладающих низкими нормами расходов и показателями токсичности, контролируемой персистентностью, соответствующими мировому уровню. Полученные результаты можно внедрить в реальный сектор экономики, занимающийся производством химических средств защиты растений. Синтез и использование новых фунгицидов актуальны в сельскохозяйственном производстве как элемент развития и интенсификации существующих аграрных технологий.

© Дахаева Ф.Д., Бахман С., Гинс М.С., Баят М., 2023

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

Ключевые слова: триазолы, мочевины, средства защиты растений, азолы, пестициды, земледелие, химические гетероциклические соединения, биологическая эффективность

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

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «ЧГУ им А. Кадырова (тема FEES-2023–0006).

История статьи: поступила в редакцию 13 сентября 2023 г., принята к публикации 3 октября 2023 г.

Для цитирования: Дахаева Ф.Д., Бахман С., Гинс М.С., Баят М. Разработка и синтез соединений с фунгицидной активностью в подавлении роста грибов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 475–484. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-475-484

Development and synthesis of compounds with fungicidal activity in suppression of fungal growth

Fatima D. Dahaeva¹ , Sarah Bachman² ,
Murat S. Gins^{2,3}  , Maryam Bayat² 

¹Chechen State University, Grozny, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

³Federal Scientific Vegetable Center, Moscow region, Russian Federation

 gins-ms@rudn.ru

Abstract. The research was conducted to synthesize and study fungicidal activity of synthesized chemical compounds of various classes, triazole and imidazole, and their mode of action due to the wide spectrum of action and low application rates. The developed synthesis methods resulted in several groups of nitrogen-containing heterocyclic compounds and evaluated their fungicidal activity. Inhibitory activity of compounds to strains of *Fusarium solani* (medium resistance to fungicides) and *Sclerotinia sclerotiorum* (susceptible to most fungicides) from the collection of phytopathogenic microorganisms of Agrobiotechnological Department, RUDN University, was tested. In the synthesis of new chemical compounds with fungicidal activity, urea derivatives 1-(3-(Difluoromethyl)-1-methyl-1H-pyrazole-5-yl)-3-(2-chlorophenyl) urea were identified and structurally confirmed. All target compounds were evaluated for their antifungal activity to inhibit mycelium growth. Preliminary screening results showed that all synthesized compounds have good fungicidal activity against *S. sclerotiorum*. The compound 1-(3-(Difluoromethyl)-1-methyl-1H-pyrazole-5-yl)-3-(3-fluorophenyl) urea showed antifungal activity against *S. sclerotiorum*. At concentration of 100 ppm, the compound suppressed growth of *S. sclerotiorum* strain by 90.5 %. An in vitro experiment revealed that the compound 1-(3-(Difluoromethyl)-1-methyl-1H-pyrazole-5-yl)-3-(3-fluorophenyl) urea was effective for suppressing white mold — *S. sclerotiorum*, at the dose of 100 mg/L. The significance of the research lies in the fact that production of eco-safe products in agroindustry is impossible without development of new biologically active compounds with low application rates and toxicity indicators, controlled persistence, corresponding to the world level. The results obtained can be implemented in real sector of economy engaged in production of chemical plant protection products. Synthesis and use of new fungicides are relevant in agricultural production as an element of development and intensification of existing agricultural technologies.

Keywords: triazoles, urea, plant protection products, azoles, pesticides, agriculture, chemical heterocyclic compounds, biological efficiency

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Funding. The research was carried out on the government assignment of Chechen State University (FECS-2023–0006).

Article history: Received: 13 September 2023. Accepted: 3 October 2023.

For citation: Dahaeva FD, Bachman S, Gins MS, Bayat M. Development and synthesis of compounds with fungicidal activity in suppression of fungal growth. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(3):475–484. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-475-484

Введение

Более 30 % потерь при выращивании урожая в значительной мере обусловлены фитопатогенными грибами, вирусами, поэтому современное производство сельскохозяйственной продукции невозможно без применения фунгицидов, следовательно, разработка новых химических средств защиты растений актуальна для развития современного аграрного производства. «Быстрый рост населения Земли и связанная с этим нехватка продовольствия привели к развитию высокопроизводительной агроиндустрии с интегрированной системой защиты растений» [1]. При поражении фитопатогенными грибами сельскохозяйственная продукция может нести большие потери при производстве, а без применения фунгицидов — к полной гибели урожая при их выращивании. При многократном применении за один вегетационный год без учета механизма действия применяемые препараты становятся малоэффективными «ввиду возникновения резистентных штаммов микроорганизмов, в связи с чем поиск новых фунгицидов остается неизменно актуальным» [2, 3].

Низкой токсичностью для окружающей среды и человека из всего ассортимента различных классов системных фунгицидов обладают производные триазола и имидазола. Широкий спектр действия и малые нормы расхода обусловили их активное применение в сельском хозяйстве [4, 5]. Именно глобальная химизация сельского хозяйства позволила решить проблему нехватки продовольствия в мировом масштабе [6, 7]. Механизм действия «азольных фунгицидов состоит в ингибировании биосинтеза эргостерина (важнейшего компонента клеточных мембран грибов) на стадии окислительного деметилирования 14а-метильной группы ланостерина (фермент стерин-14а-деметилаза-СУР51)» [8, 9].

Наряду с положительным эффектом использование агрохимикатов в сельском хозяйстве имеет негативные последствия, связанные с загрязнением пестицидами и минеральными удобрениями окружающей среды, ухудшением показателей здоровья населения, глобальным изменением климата [10, 11]. Именно поэтому научными коллективами в различных странах ведутся исследования по разработке современных сельскохозяйственных технологий» [12, 13], поиску новых химических соединений, позволяющих уменьшить «негативное антропогенное влияние и обеспечивающих существенное снижение экологической нагрузки на окружающую среду, связанной с образованием

многочисленных отходов» [14, 15]. Эффективные подходы, позволяющие «существенно повысить качество аграрных технологий, часто заключаются в сбалансированном сочетании современных химических, биологических и аграрно-технологических достижений на каждом этапе производства сельскохозяйственной продукции, включая синтез действующего начала препарата, исследование его свойств, разработку препаративных форм, проведение биологических и полевых испытаний, создание технологических карт и рекомендаций по практическому применению» [16].

Цель исследования заключалась в синтезе химических соединений и разработке их методов получения, оценке фунгицидной активности в лабораторных условиях.

Новизна исследований. Разработаны общие методы синтеза нескольких групп азотсодержащих гетероциклических соединений с оценкой их фунгицидной активности. Получены химические соединения, обладающие ингибирующей активностью по отношению к штаммам грибов *Fusarium solani* (штамм, обладающий средней устойчивостью к фунгицидам) и *Sclerotinia sclerotiorum* (штамм, восприимчивый к большинству фунгицидов).

Материалы и методы исследования

В работе использовали штаммы грибов *Fusarium solani* (штамм, обладающий средней устойчивостью к фунгицидам) и *Sclerotinia sclerotiorum* (штамм, восприимчивый к большинству фунгицидов) из коллекции культур фитопатогенных микроорганизмов агробиотехнологического департамента АТИ РУДН (табл. 1).

Таблица 1

Штаммы грибов

Название штамма гриба	Растение	Видовое название гриба	Рост на среде КГА (PDA)
20МККК 1.1	Картофель	<i>Fusarium solani</i>	Медленный
КТОПС1	Топинамбур	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Быстрый

Растворив синтезированное соединение в полярном апротонном растворителе диметилсульфоксиде, получали 1 % (1000 ppm) раствор препарата. После автоклавирования и застывания КГА (картофельно-глюкозный агар (состав компонентов на 1 л воды, г: картофель (200 г), глюкоза (20 г), агар (15 г)) исходный раствор использовали для приготовления смесей фунгицидов в концентрациях 10 и 100 ppm. Среду гомогенизировали и разливали в чашки Петри диаметром 85 мм из расчета примерно 20 мл на чашку. В середину чашки с отравленной средой КГА помещали блок агара с мицелием из 7-дневных культур. Для каждого варианта использовали 2 повторности. В тех же условиях выращивался контроль с ДМСО без фунгицида. Культуры инкубировали в термостате с заданной температурой 22 ± 2 °С в течение

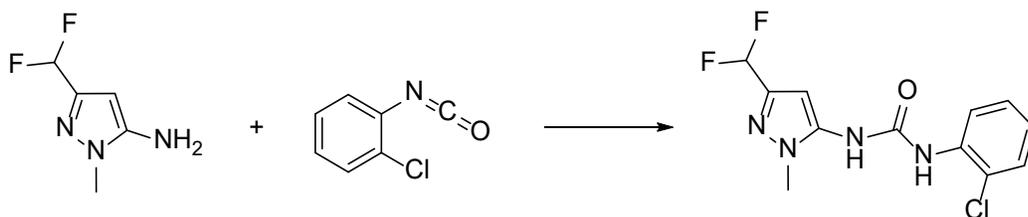
7 дней. Оценивали эффективность препаратов путем измерения радиального роста колоний каждого гриба. Радиальный рост измерялся по двум перпендикулярным осям, проведенным от основания каждой чашки Петри и пересекающимся в центре колонии. Опыт проводили в двух повторностях. В качестве показателя эффективности действия препаратов использовали процент подавления роста, который рассчитывали по формуле

$$D = \frac{D_0 - D_c}{D_0} 100,$$

где D — подавление роста колонии, %; D_0 — диаметр колонии в контроле; D_c — диаметр колонии в опыте.

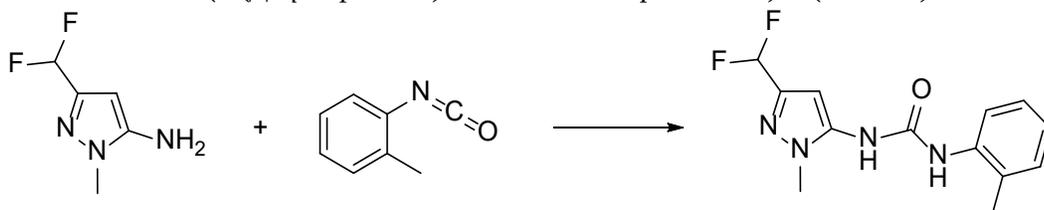
Результаты исследований и обсуждение

1. Синтез производных мочевины 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1H-пиразол-5-ил)-3-(2-хлорфенил) мочевины



К раствору аминопиразола (0,129 г, 0,88 ммоль) в дихлорметане (5 мл) добавили 2-хлорфенилизоцианат (0,148 г, 0,96 ммоль) и кипятили 6 часов. По окончании реакции продукт очищали колоночной хроматографией на SiO_2 на автоматическом хроматографе в смеси EtOAc /Гексан, что дает 0,176 г (66 %) мочевины. Спектр ЯМР¹H (400 МГц, DMSO): δ 9,52 (с, 1H), 8,65 (с, 1H), 8,15 (д, $J = 8,4$ Гц, 1H), 7,48 (д, $J = 7,9$ Гц, 1H), 7,32 (т, $J = 7,9$ Гц, 1H), 7,06 (дд, $J = 11,3, 4,5$ Гц, 1H), 6,89 (т, $J_F = 54,6$ Гц, 1H), 6,48 (с, 1H), 3,77 (с, 3H). ЯМР¹⁹F (283 МГц, DMSO).

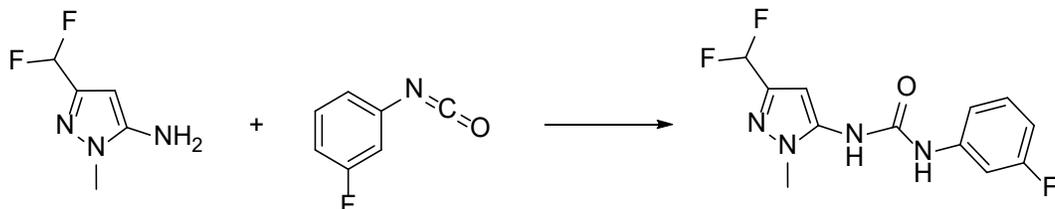
2. Синтез 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1H-пиразол-5-ил)-3-(о-толил) мочевины



К раствору аминопиразола (0,129 г, 0,88 ммоль) в дихлорметане (5 мл) добавили 2-толилизотиоцианат (0,128 г, 0,96 ммоль) и кипятили 18 часов. По окончании реакции продукт очищали колоночной хроматографией на SiO_2 (картридж Agilent)

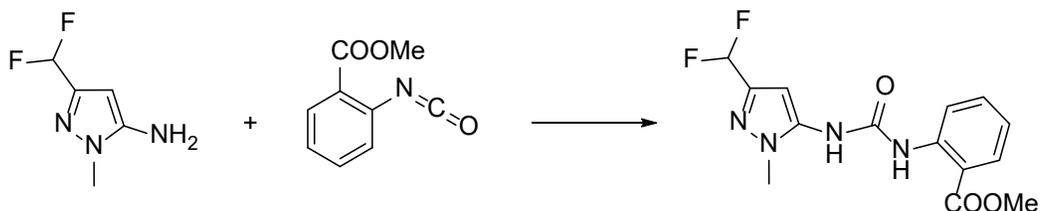
на автоматическом хроматографе в смеси EtOAc/Гексан, что дает 0,198 г (80 %) мочевины. Спектр ЯМР¹H (400 МГц, DMSO): δ 9,11 (с, 1H), 8,24 (с, 1H), 7,79 (д, $J = 7,8$ Гц, 1H), 7,29–7,09 (м, 2H), 6,99 (д, $J = 9,0$ Гц, 1H), 6,86 (т, $J_F = 46,4$ Гц, 1H), 6,46 (с, 1H), 3,75 (с, 3H), 2,26 (с, 3H). ЯМР¹⁹F (376 МГц, DMSO).

3. Синтез 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1H-пиразол-5-ил)-3-(3-фторфенил) мочевина



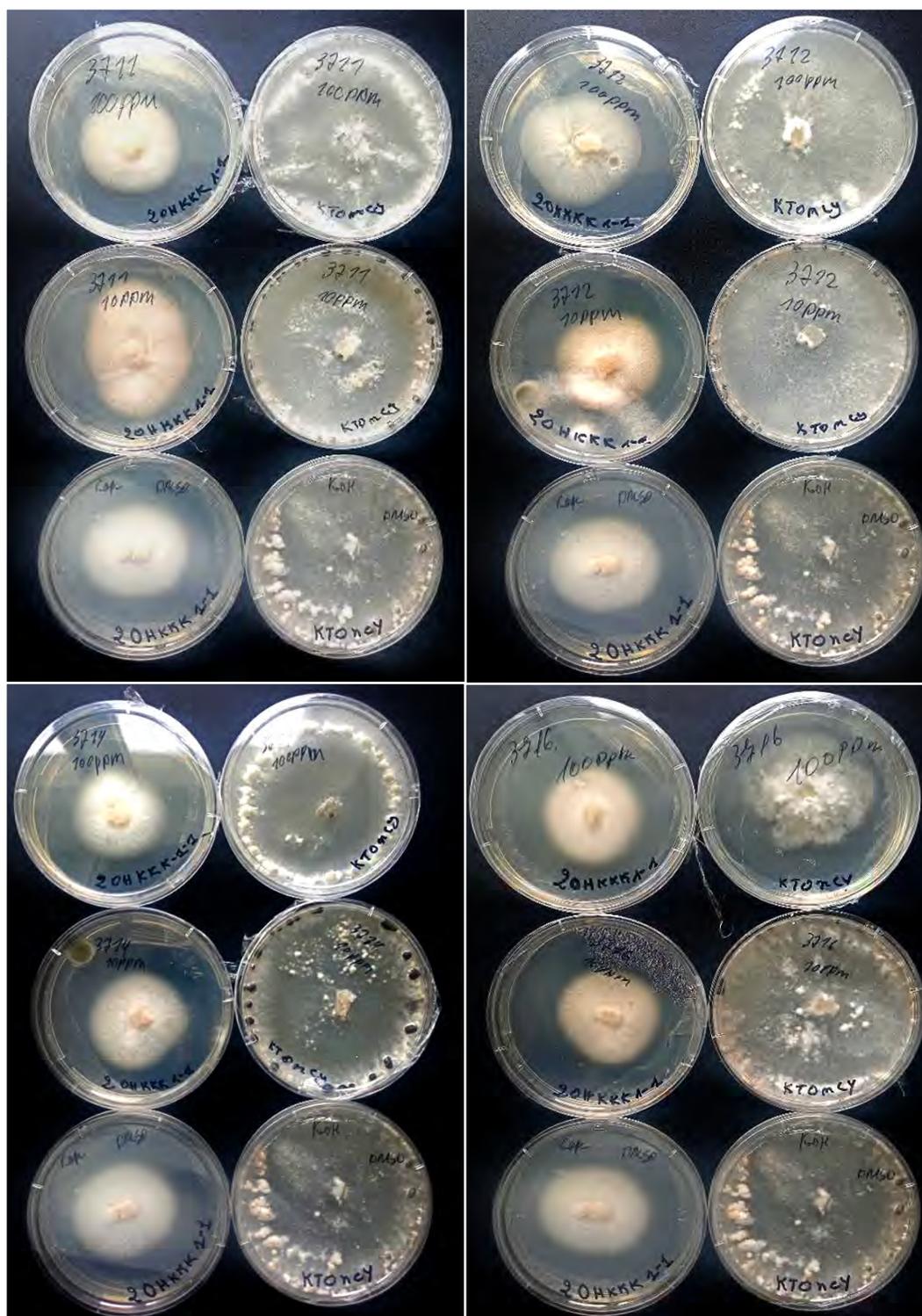
К раствору аминопиразола (0,129 г, 0,88 ммоль) в дихлорметане (5 мл) добавили 3-фторфенилизотиоцианат (0,131 г, 0,96 ммоль) и кипятили 4 часа. По окончании реакции продукт очищали колоночной хроматографией на SiO₂ (картридж Agilent) на автоматическом хроматографе в смеси EtOAc/Гексан, что дает 0,195 г (78 %) мочевины. Спектр ЯМР¹H (400 МГц, CDCl₃): δ 9,23 (с, 1H), 8,86 (с, 1H), 7,49 (д, $J = 11,7$ Гц, 1H), 7,41–7,25 (м, 1H), 7,16 (д, $J = 8,0$ Гц, 1H), 6,88 (т, $J^F = 54,8$ Гц, 1H), 6,82 (т, $J = 8,2$ Гц, 1H), 6,45 (с, 1H), 3,72 (с, 3H). ¹⁹F (376 МГц, DMSO).

4. Синтез 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1H-пиразол-5-ил)-3-(2-метоксифенил) мочевина



К раствору аминопиразола (0,129 г, 0,88 ммоль) в дихлорметане (5 мл) добавили 2-(карбоксиметил) фенилизотиоцианат (0,170 г, 0,96 ммоль) и кипятили 4 часа. По окончании реакции после упаривания и промывания смесью эфира с гексаном получилось неочищенного продукта 0,035 г (12 %) мочевины продукт использовали без очистки.

Для оценки фунгицидных свойств методом *in vitro* использовали штаммы грибов *Fusarium solani* (штамм, обладающий средней устойчивостью к фунгицидам) и *Sclerotinia sclerotiorum* (штамм, восприимчивый к большинству фунгицидов) (рис.).

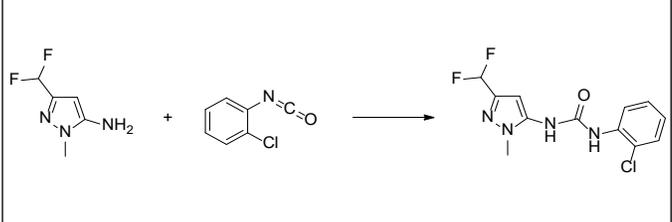
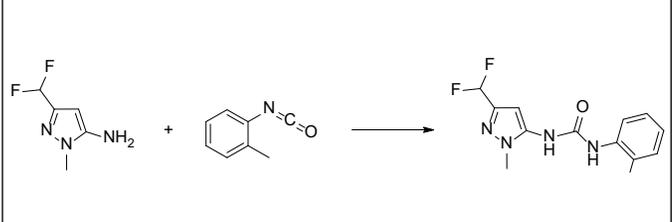
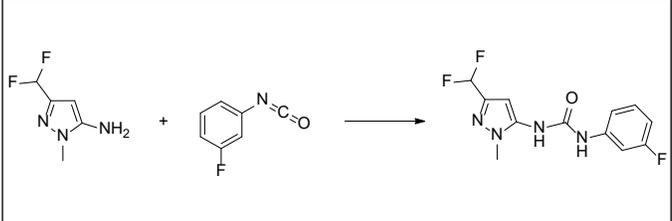
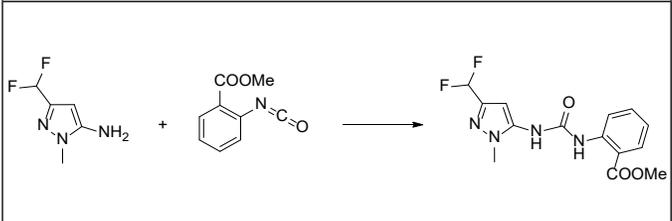


Влияние синтезированных соединений на рост грибов
Источник: сделано авторами

1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1Н-пиразол-5-ил)-3-(2-метоксифенил) мочевины оказал ингибирующий эффект против *S. sclerotiorum*, в концентрации 100 ppm, соответствующий 90,5 %.

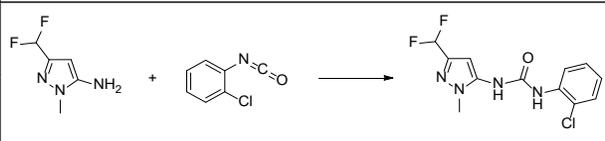
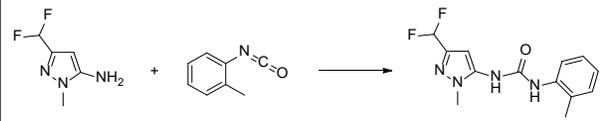
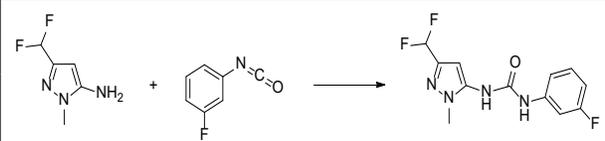
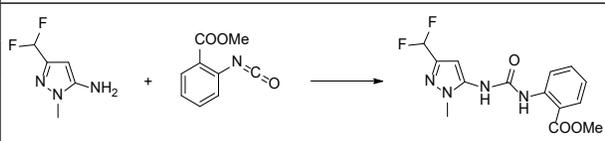
Данные табл. 2 показывают, что соединения 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1Н-пиразол-5-ил)-3-(2-метоксифенил) мочевины проявляют более высокую фунгицидную активность по сравнению с широко используемым в качестве контроля триазолом.

Таблица 2

Характеристика синтезированных соединений			
Соединение	Масса, мг	Молекулярный вес	Исходный раствор (1000 ppm)
	43	280	43 мг + 4300 мкл ДМСО
	40	301	40 мг + 4000 мкл ДМСО
	42	284	42 мг + 4200 мкл ДМСО
	35	340	35 мг + 3500 мкл ДМСО

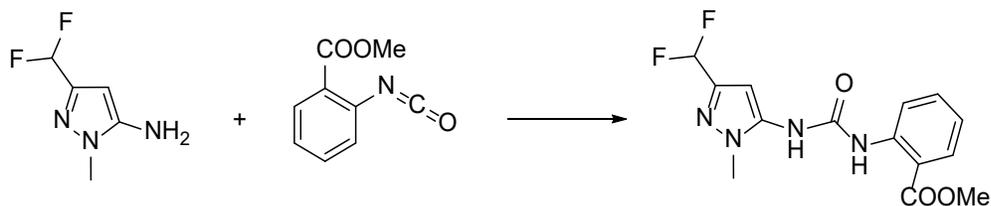
Результатом синтеза является химическое соединение 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1Н-пиразол-5-ил)-3-(3-фторфенил) мочевины, обладающее фунгицидной активностью (табл. 3).

Фунгицидная активность синтезированного химического соединения

Соединение	Варианты	Снижение роста мицелия грибов, в % к контролю	
		<i>Fusarium solani</i>	<i>S. sclerotiorum</i>
	Контроль	49,5	65
	10 ppm	60	75
	100 ppm	79,5	85
	Контроль	49,5	75
	10 ppm	59,5	73
	100 ppm	79,5	77,2
	Контроль	49,5	65
	10 ppm	49,5	70
	100 ppm	49,5	72
	Контроль	49,5	75
	10 ppm	54,3	85
	100 ppm	65,5	90,5

Заключение

Установлены структуры, обладающие фунгицидной активностью, содержащие синтез 1-(3-(Дифторметил)-1-метил-1Н-пиразол-5-ил)-3-(2-метоксифенил) мочевины, в концентрации 100 мг/л в растворителе Диметилсульфоксид.



Список литературы

1. Гар М.М., Кривцова В.Г., Попков С.В. Синтез и фунгицидная активность 8-алкил-4-арил-3, 4, 5, 6, 7, 8- и 3, 4, 5, 6, 7, 10-гексагидро-2(7Я)-хиназолинтионов и их аналогов // *Агрохимия*. 2013. № 4. С. 60–68.
2. Попков С.В. Синтез и фунгицидная активность замещенных 1-азолилметилциклогексанолов: дис. ... канд. хим. наук. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1994.
3. Гар М.М., Архипова О.Н., Попков С.В. Синтез и фунгицидная активность замещенных 2-тиокарбам оил-3-фенил-3,4,5,6,7-гекса-гидро-2-индазолов // *Успехи в химии и хим. технологии: сб. науч. трудов*. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. Т. 21. № 12. С. 80.
4. Бехзад А., Астарханова Т.С. Биологическая эффективность фунгицидов нового поколения против листостебельных болезней озимой пшеницы // *Теоретические и прикладные проблемы АПК*. 2023. № 1 (55). С. 23–28. doi: 10.32935/2221-7312-2023-55-1-23-28

5. Cao F., Souders C.L. 2nd, Li P., Pang S., Qiu L., Martyniuk C.J. Developmental toxicity of the triazole fungicide cyproconazole in embryo-larval stages of zebrafish (*Danio rerio*) // *Environmental Science and Pollution Research International*. 2019. Vol. 26. № 5. P. 4913–4923. doi: 10.1007/s11356-018-3957-z
6. Беззад А., Бахман С., Астарханова Т.С., Пакина Е.Н. Характеристика гетероциклических соединений и активность синтезированных соединений против мучнисторосяных грибов *Erysiphe graminis* // III Международная научно-практическая конференция «WORLD OF SCIENCE». 2023. С. 79–91.
7. Burmaoglu S., Yilmaz A.O., Polat M.F., Kaya R., Gulcin I., Algul O. Synthesis of novel tris-chalcones and determination of their inhibition profiles against some metabolic enzymes // *Arch Physiol Biochem*. 2021. Vol. 127. № 2. P. 153–161. doi: 10.1080/13813455.2019.1623265
8. Гар М.М., Архипова О.Н., Попков С.В. Синтез и фунгицидная активность 7-замещенных 2-тиокарбамоил-3-арил-гексагидроиндазолов // *Агрохимия*. 2009. № 6. С. 40–45.
9. Астарханова Т.С., Пакина Е.Н. Синтез и характеристика соединений с фунгицидной активностью // II Международная научно-практическая конференция «Научный форум». Пенза, 2023. С. 31–34.
10. Гар М.М., Еремеев А.В., Попков С.В. Направленный синтез стереоизомерных 2-тиокарбамоил-3-арил-3,3а,4,5,6,7-гексагидро-2-индазолов, обладающих фунгиотоксичностью // XIX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тез. докл.: в 4 т. Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. Т. 1. С. 159.
11. Petricca S., Flati V., Celenza G., Di Gregorio J., Lizzi A.R., Luzzi C., Cristiano L., Cinque B., Rossi G., Festuccia C., Iorio R. Tebuconazole and econazole act synergistically in mediating mitochondrial stress, energy imbalance, and sequential activation of autophagy and apoptosis in mouse Sertoli TM4 cells: possible role of AMPK/ULK1 axis // *Toxicological Sciences*. 2019. Vol. 169. № 1. P. 209–223. doi: 10.1093/toxsci/kfz031
12. Шарупов М.Ю., Терентьев А.О. Создание фунгицидных препаратов на основе органических тиоцианатов // Тезисы докладов. Зимняя конференция молодых ученых по органической химии «WSOC-2016». Красновигово, 2016. С. 238.
13. Burmaoglu S., Yilmaz A.O., Taslimi P., Algul O., Kilic D., Gulcin I. Synthesis and biological evaluation of phloroglucinol derivatives possessing α -glycosidase, acetylcholinesterase, butyrylcholinesterase, carbonic anhydrase inhibitory activity // *Arch Pharm (Weinheim)*. 2018. № 351(2). doi: 10.1002/ardp.201700314
14. Bayat M., Zargar M., Murtazova K.S., Nakhaev M.R., Shkurkin S.I. Ameliorating Seed Germination and Seedling of Nano-Primed Wheat and Flax Seeds Using Seven Biogenic Metal-Based Nanoparticles // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. № 4. P. 811. doi: 10.3390/agronomy12040811
15. Liu A., Wang X., Liu X., Li J., Chen H., Hu L., Yu W., He L., Liu W., Huang M. Synthesis and Fungicidal Activity of Novel 2-Heteroatomthiazole-based Carboxanilides // *J. Heterocyclic. Chem*. 2017. Vol. 54. № 2. P. 1625–1629. doi: 10.1002/jhet.2668
16. Хаскин Б.А. Механизм действия системных фунгицидов // *Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева*. 1988. Т. 33. № 6. С. 698–710.

Об авторах:

Дахаева Фатима Дикалитовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных технологий, Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Российская Федерация, 364021, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Шерипова, д. 32; e-mail: dahaeval@mail.ru

ORCID: 0009-0003-9996-3981

Бахман Сара — соискатель агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: khadem2021@mail.ru

ORCID: 0009-0004-9647-9630

Гинс Мурат Сабирович — доктор биологических наук, член-кор., профессор агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; заведующий лабораторией физиологии и биохимии растений, интродукции и функционального продукта, Федеральный научный центр овощеводства, Российская Федерация, 143080, Московская обл., Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14; e-mail: anirr@bk.ru

ORCID: 0000-0001-5995-2696; Scopus Author ID: 6603575024

Баят Марьям — кандидат биологических наук, ассистент агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: baiat@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0432-3598



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-485-492

EDN: KEDPBH

УДК 632.958.31:632.934.4

Научная статья / Research article

Эффективность двух форм родентицидных приманок против серых крыс и обыкновенных полевок, основанных на бродифакуме

С.В. Рябов¹ , В.В. Введенский²  , Т.В. Долженко³ , Р. Каррижо² 

¹Научно-исследовательский институт системной биологии и медицины, г. Москва, Российская Федерация

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

³Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

 val-ved@yandex.ru

Аннотация. Химический метод является основным при борьбе с грызунами. Для проведения дератизационных работ применяются родентициды острого (фосфид цинка и крысид) или кумулятивного действия: антикоагулянты (I и II поколений). Цель исследования — оценить результаты родентицидной активности двух форм родентицидных приманок, приготовленных на основе бродифакума, для борьбы с грызунами и снижения их вредоносности в населенных пунктах и прилегающих к ним территориях, на сельскохозяйственных угодьях. Всего было приготовлено две формы приманок против грызунов с родентицидом бродифакум. Испытана родентицидная активность разработанных нами форм приманок в сыпучих и мягких формах. Установлено, что обе формы обладают высокой биологической активностью, достигающей 90,17 и 89,67 %. Нормы расхода отравленных приманок в форме мягких брикетов ниже по сравнению с зерновыми приманками, при этом высока эффективность и экономится пищевая основа для приготовления отравленных родентицидных приманок.

Ключевые слова: поедаемость, зерновая приманка, родентицидная активность, концентрация, мягкий брикет, пищевая основа

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

История статьи: поступила в редакцию 12 сентября 2023 г., принята к публикации 9 октября 2023 г.

Для цитирования: Рябов С.В., Введенский В.В., Долженко Т.В., Каррижо Р. Эффективность двух форм родентицидных приманок против серых крыс и обыкновенных полевок, основанных на бродифакуме // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротомия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 485—492. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-485-492

© Рябов С.В., Введенский В.В., Долженко Т.В., Каррижо Р., 2023



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

Testing two forms of rodenticide baits based on brodifacoum *in vitro* on Norway rats *Rattus norvegicus*

Sergey V. Ryabov¹ , Valentin V. Vvedensky²  ,
Tatyana V. Dolzhenko³ , Ranim Karrijow² 

¹Research Institute for Systems Biology and Medicine, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

³Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russian Federation

 vaval-ved@yandex.ru

Abstract. The chemical method is the most common to control rodents. Fast acting rodenticides (zinc phosphide and krysid) and slow-acting rodenticides divided into first- and second-generation anticoagulants are used for deratization practice. The aim of the study was to evaluate the results of rodenticidal activity of brodifacoum for two forms of rodenticidal baits in order to control rodents in settlements and adjacent territories, on agricultural land and reduce their harm. In case of high numbers, they carry such dangerous diseases as plague, typhoid fever, paratyphs, encephalitis, rabies, tuberculosis, tularemia, etc. Fleas and ticks parasitizing mouse-like rodents transmit pathogens to pets and humans. The economic damage caused by rodents is high. They destroy and spoil food and fodder, destroy the seedlings of agricultural crops. In a year, a gray rat eats 20...24 kg of food and pollutes 10 times more products. In total, two forms of baits based on brodifacoum were prepared against rodents. We proposed and tested the rodenticidal activity of the forms of baits developed in loose and soft forms. The assessment established that both forms had high biological activity, reaching 90.17 and 89.67 %. Consumption rates of poisoned baits in the form of soft briquettes were lower compared to grain baits, showing high efficiency and saving the food base for preparation of poisoned rodenticidal baits.

Keywords: eatability, grain bait, rodenticidal activity, concentration, soft briquette, food base

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 12 September 2023. Accepted: 9 October 2023.

For citation: Ryabov SV, Vvedensky VV, Dolzhenko TV, Karrijow R. Testing two forms of rodenticide baits based on brodifacoum *in vitro* on Norway rats *Rattus norvegicus*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):485—492. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-485-492

Введение

В широком ассортименте родентицидов, применяемых в сельскохозяйственном производстве, значительное место занимают содержащие бродифакум препараты, которые относятся к антикоагулянтам второго поколения. Они намного токсичнее для грызунов, гибель зверьков достигается после однократного поедания приманки через несколько суток, так как необходимо время для развития механизмов нарушения свертываемости крови. Крысы и мыши наносят вред человеку и его собственности с древних времен, поскольку они сопровождают его в тех местах, где он находится, поедают или повреждают продукцию, особенно в сельскохозяйственной сфере. Заражение грызунами приводит к большим потерям некоторых стратегических культур, например, 53 % производства риса в Азии [1–3], а в не-

которых регионах Таиланда — до 100 % [4, 5]. Заражение сельскохозяйственных культур патогенами и распространение их в окружающей среде представляют опасность для людей и домашних животных.

Почти все дикие крысы живут в тесной связи с людьми, что приводит к различным формам неблагоприятных взаимодействий, часто считаются вредителями. Например, известно, что крысы «передают опасные заболевания человеку и домашним животным» [6], уничтожают хранимую пищу и инфраструктуру, в т. ч. повреждают провода или фундаменты [8, 9]. Кроме того, крысы являются хищниками и могут быть угрозой для других видов животных, особенно при распространении на новой территории [10]. Таким образом, со времен средневековья была огромная потребность в контроле численности и расселения крыс [11].

Распространение видов семейства Мышиных (сем. Muridae), к которому относятся крысы и мыши, значительно в населенных пунктах, где множится деятельность, увеличиваются отходы, разнообразны источники питания, в т. ч. разнообразие сельхозкультур, есть убежища. Характер окружающей среды тоже влияет на масштабы причиняемого ущерба [12].

Исследования в Сирии показали, что наиболее часто встречается черная крыса *Rattus rattus*, наносящая ущерб деревьям, полям, лесам и фруктовым садам, в т. ч. цитрусовым, так как она широко распространяется вблизи живых изгородей, виноградников, гранатов, вьющихся растений и деревьев, чьи ветви касаются почвы. За черной крысой по распространенности следует серая крыса *R. Norvegicus*. Оба вида питаются часто на открытом воздухе, поедая части растений, в т. ч. декоративных, фрукты. «Домовая мышь *Mus musculus* распространяется с меньшей скоростью, чаще в домах и овинах, она питается мелкими насекомыми и почками растений. В полях и садах также встречается общественная полевка или степная полевка *Microtus socialis*» [13].

Грызуны обычно нападают на все, с чем сталкиваются, чтобы съесть, укусить, поточить зубы или получить припасы для строительства гнезд в норах. Грызуны наносят значительный ущерб в садах, так как они нападают на цитрусовые и сопутствующие им виды (гранат, инжир), а также питаются мякотью цитрусовых, оставляя полыми и висящими на деревьях, а иногда и питаются только альbedo цитрусовых, оставляя мякоть практически голой (у лимона). Также «повреждают ветви и стебли саженцев, кольцеобразно обгрызая кору» [14].

Химическое воздействие было и остается наиболее широко используемым методом борьбы с грызунами, а родентициды, вероятно, останутся основным средством борьбы с ними в сельскохозяйственной среде, несмотря на то, что пестициды наименее подходящи и наиболее опасны для нецелевых организмов, для теплокровных животных в целом [15]. Также настороженность и неприятие грызунами изменений среды их обитания, в т. ч. внедрения чужеродных веществ, увеличивает трудность борьбы с ними, особенно с помощью быстродействующих (одноразовых) родентицидов, которые считаются наиболее эффективными при массовом распространении грызунов.

Цель исследования — определение родентицидной активности двух форм родентицидных приманок (сыпучей и мягкого брикета), приготовленных на основе бродифакума, в снижении численности или полном истреблении мышевидных грызунов на сельскохозяйственных угодьях и природных биотопах.

Материалы и методы исследования

Опыт проводился в вивариях лаборатории дератизации Научно-исследовательского института системной биологии и медицины на серых крысах. Клинически здоровых животных содержали группами по 6–7 крыс при температуре воздуха 23...25 °С, относительной влажности 60...70 %, 12-часовом освещении.

Для эксперимента использовали родентицидное средство «Бродефор» на основе бродифакума — действующее вещество родентицидов из класса антикоагулянтов крови, производное гидроксикумарина. Бродифакум относится ко второму поколению антикоагулянтов, которые гораздо сильнее действуют на грызунов, чем родентициды первого поколения этой группы.

Были приготовлены две формы приманки:

1) зерновая приманка — путем смешивания концентрата с пищевой основой из расчета 10 мл на 0,5 кг ячменных зерен. Приманка имеет форму сыпучего зерна. Для привлечения грызунов добавлено подсолнечное масло;

2) мягкий брикет — путем смешивания концентрата с пищевой основой из расчета 10 мл на 0,5 кг муки. Приманка образуется в виде мягкого брикета. В приманку добавлено пальмовое масло в качестве аттрактанта грызунов.

В кормушки помещали зерновую прикормку в количестве 30...40 г и мягкую прикормку в количестве 15...20 г. Контролем служил альтернативный корм без бродифакума, который также помещали в клетки в количестве 87...111 г. Давали воду в неорганиченном количестве.

Поедаемость приманки определяли по количеству пищи, съеденной подопытными крысами в течение дня, путем взвешивания каждой из оставшейся приманки и оставшегося контрольного альтернативного корма.

Результаты исследования и обсуждение

Характеристика поедаемости мышевидными грызунами зерновой приманки и мягкого брикета на основе антикоагулянта бродифакума и их эффективность приведены в табл. 1. Указано количество съеденной отравленной зерновой приманки в сутки с момента начала опыта до гибели подопытных крыс, и в среднем оно составляет в первые сутки 21,55 г, на вторые сутки 10,01 г, на третьи сутки зверьки перестали есть корм, на четвертый день одна из серых крыс погибла от свертываемости крови, на 5 сутки погибли все подопытные животные.

Таблица 1

Динамика поедаемости зерновой приманки на основе родентицидного средства, содержащего действующее вещество бродифакум

№ п/п	Пол	Исходное количество корма, г		Количество съеденной приманки по дням, г									
				1		2		3		4		5	
		О	К	О	К	О	К	О	К	О	К	О	К
1	♂	30	89	10,8	13,5	15,18	0,43	0	0	0	0	х	х
2	♂	40	87	32,3	14,1	4,84	2,62	0	0	х	х	х	х
Средняя величина		35	88	21,55	13,8	10,01	1,52	0	0	0	х	х	х

Примечание. О – опыт; К – контроль; х – гибель крыс.

Table 1

Dynamics of eatability of grain bait based on rodenticide containing brodifacoum active ingredient

No	Gender	Initial amount of feed, g		Amount of bait eaten by day, g									
				1		2		3		4		5	
		E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
1	♂	30	89	10.8	13.5	15.18	0,43	0	0	0	0	х	х
2	♂	40	87	32.3	14.1	4.84	2,62	0	0	х	х	х	х
Average		35	88	21,55	13.8	10.01	1.52	0	0	0	х	х	х

Note. E – experiment; C – control; х – rat death.

В табл. 2 приведено количество мягкой приманки, съеденной серыми крысами в сутки с начала эксперимента до момента гибели крыс: в первый день поедаемость составила 13 г, на второй день — снизилась до 3,59 г, животные перестали есть корм на третьи и четвертые сутки, а все подопытные животные погибли на пятые сутки от начала опыта.

Таблица 2

Динамика поедаемости мягкой брикета на основе родентицидного средства, содержащего действующее вещество бродифакум

№ п/п	Пол	Исходное количество корма, г		Количество съеденной приманки по дням, г									
				1		2		3		4		5	
		О	К	О	К	О	К	О	К	О	К	О	К
3	♂	21	111	10	8,6	7,18	4,7	0	0	0	0	х	х
4	♂	16	105	16	9,2	–	14,26	0	0	0	0	х	х
Средняя величина		18,5	108	13	8,9	3,59	9,48	0	0	0	0	х	х

Примечание. О – опыт; К – контроль; х – гибель крыс.

Dynamics of eatability of soft briquette based on rodenticide containing brodifacoum active ingredient

No	Gender	Initial amount of feed, g		Amount of bait eaten by day, g									
				1		2		3		4		5	
		E	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E	C
3	♂	21	111	10	8.6	7.18	4,7	0	0	0	0	x	x
4	♂	16	105	16	9.2	–	14,26	0	0	0	0	x	x
Average		18,5	108	13	8.9	3.59	9.48	0	0	0	0	x	x

Note. E – experiment; C – control; x – rat death.

Результатами исследований установлено, что родентицидная эффективность в борьбе с мышевидными грызунами после поедаемости зерновой приманки и мягкого брикета, приготовленных на основе бродифакума, проявлялась с первых суток применения приманки по четвертые сутки включительно. Но на третьи сутки у животных появлялись кровотечения из носа. При этом поедаемость зерновой приманки достигла 90,17 %, а мягкого брикета — 89,67 %. Поедаемость была высокой как зерновой приманки, так и мягкого брикета, при котором все мышевидные грызуны погибали в течение 5 дней.

Заключение

Анализ результатов исследований показал, что поедаемость зерновой приманки, содержащей бродифакум, выше, чем мягкой приманки всего на 0,5 %, и обе приманки независимо от формы вызывают 100 % гибель подопытных грызунов в течение 5 суток в лабораторных условиях, что подтверждает эффективность родентицидных приманок. В зависимости от численности мышевидных грызунов лучше использовать отравленные мягкие брикеты с малыми нормами расхода по сравнению с зерновыми приманками, экономя пищевую основу для приготовления отравленных приманок.

Разработанные приманки могут быть использованы как часть дератизационных мероприятий для борьбы с грызунами и уменьшения наносимого ими ущерба в населенных пунктах и на сельскохозяйственных культурах, в которых они обитают.

Список литературы

1. Кучерук В.В. Спонтанные эпизоотии и их значение в регуляции численности грызунов // Тез. докл. II экол. конфер. по проблеме Массовые размножения животных и их прогнозы. Киев, 1950. № 2. С. 38.
2. Клементьева С.А. Новое родентицидное средство «Изорат-4» для борьбы с грызунами // Конкурентоспособность и качество животноводческой продукции: сб. трудов междунар. науч.-практ. конф. Жодио, 2014. С. 343–346.
3. Aplin K.P., Chesser T., Havel J. Evolutionary biology of the genus *Rattus*: profile of an archetypal rodent pest // *Aciaar monograph series*. 2003. Т. 96. С. 487–498.

4. Booy O., Cornwell L., Parrott D., Sutton-Croft M., Williams F. Impact of biological invasions on infrastructure // *Impact of Biological Invasions on Ecosystem Services* / M. Vila', P.E. Hulme (Eds). Cham: Springer, 2017. P. 235–247. doi: 10.1007/978-3-319-45121-3
5. Мамедова С.Р., Халилов Э.А., Исмаилов М.М., Магеррамов Д.Г. Особенности размножения полевок в Азербайджане // Защита и карантин растений. 2006. № 11. С. 35–36.
6. Brown P.R., Khamphoukeo K. Changes in farmers' knowledge, attitudes and practices after implementation of ecologically-based rodent management in the uplands of Lao PDR // *Crop Protection*. 2010. Т. 29. № 6. С. 577–582. doi: 10.1016/j.cropro.2009.12.025
7. Himsforth C.G., Parsons K.L., Jardine C., Patrick D.M. Rats, cities, people, and pathogens: a systematic review and narrative synthesis of literature regarding the ecology of rat-associated zoonoses in urban centers // *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 2013. № 13. P. 349–359. doi: 10.1089/vbz.2012.1195
8. Бернштейн А.Д., Мясников Ю.А. Влияние расчистки леса на численность мелких млекопитающих // Влияние антропогенной трансформации ландшафта на население наземных позвоночных животных. М., 1987. С. 67–68.
9. Дембич Н.Д., Бudyлова А.С. Вред и борьба с крысами // Трансформация вузовского образования: от локальных кейсов к тенденциям развития: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. М., 2020. С. 80–88.
10. Кадиров А.Ф., Клементьева С.А. Родентицидный состав «Изорат-2». Патент (RU)22R2277330C1. ГНУ ВНИИВСГЭ Россельхозакадемии. 2006.
11. Khlyap L., Glass G., Kosoy M. Rodents in urban ecosystems of Russia and the USA // *Rodents: Habitat, pathology and environmental impact*. Nova Science Publishers, Inc., 2012. С. 1–21.
12. Meerburg B.G., Singleton G.R., Leirs H. The year of the rat ends — time to fight hunger! // *Pest Management Science*. 2009. № 65. P. 351–352. doi: 10.1002/ps.1718
13. Moors P.J., Atkinson I.A.E., Sherley G.H. Reducing the rat threat to island birds // *Bird Conservation International*. 1992. № 2. P. 93–114. doi: 10.1017/S0959270900002331
14. Рябов С.В., Астарханова Т.С., Каррижо Р. К вопросу о совершенствовании дератизационных мероприятий с помощью капсулированных приманок // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова: сб. статей. 2022. Т. 1. С. 186–190.
15. Wood B.J., Fee C.G. A critical review of the development of rat control in Malaysian agriculture since the 1960s // *Crop Protection*. 2003. Т. 22. № 3. С. 445–461.

References

1. Kucheruk VV. Spontaneous epizootics and their significance in the regulation of the number of rodents. In: *Ecological conference on the problem of mass reproduction of animals and their forecasts*. Kiev; 1950. p.38. (In Russ.).
2. Klementyeva SA. A new rodenticidal agent «Izorat-4» for rodent control. In: *Competitiveness and quality of livestock products: conference proceedings*. Zhodzina; 2014. p.343–346. (In Russ.).
3. Aplin KP, Chesser T, Have J. Evolutionary biology of the genus *Rattus*: profile of an archetypal rodent pest. *Aciar monograph series*. 2003;96:487–498.
4. Booy O, Cornwell L, Parrott D, Sutton-Croft M, Williams F. The impact of biological invasions on infrastructure. In: Vila M, Hulme P. (eds.) *The impact of biological invasions on ecosystem services*. Cham: Springer; 2017. pp.235–247. doi: 10.1007/978-3-319-45121-3_15
5. Mamedova SR, Khalilov EA, Ismailov MM, Magerramov DG. Peculiarities of vole reproduction in Azerbaijan. *Plant protection and quarantine*. 2006;(11):35–36. (In Russ.).
6. Brown PR, Khamphoukeo K. Changes in farmers' knowledge, attitudes and practices after implementation of ecologically-based rodent management in the uplands of Lao PDR. *Crop protection*. 2010;29(6):577–582. doi: 10.1016/j.cropro.2009.12.025
7. Himsforth CG, Parsons KL, Jardine C, Patrick DM. Rats, cities, people, and pathogens: a systematic review and narrative synthesis of literature regarding the ecology of rat-associated zoonoses in urban centers. *Vector-borne and Zoonotic Diseases*. 2013;13(6):349–359. doi: 10.1089/vbz.2012.1195
8. Bernstein AD, Myasnikov YA. The effect of forest clearing on the number of small mammals. In: *Vliyanie antropogennoi transformatsii landshafta na naselenie nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh* [The impact of anthropogenic transformation of the landscape on the population of terrestrial vertebrates]. Moscow; 1987. pp.67–68. (In Russ.).

9. Dembich ND, Budylova AS. Harm and control of rats. In: *Transformation of university education: from local cases to development trends: conference proceedings*. Moscow; 2020. pp.80–88. (In Russ.).
10. Kadirov AF, Klementyeva SA. *Rodentitsidnyi sostav «Izorat-2»* [Rodenticidal composition of «Izorat-2»]. Patent RUS, no. 22R2277330C1, 2006. (In Russ.).
11. Khlyap L, Glass G, Kosoy M. Rodents in urban ecosystems of Russia and the USA. In: *Rodents: habitat, pathology and environmental impact*. Nova Science Publishers; 2012. pp.1–21.
12. Meerburg BG, Singleton GR, Leirs H. The year of the rat ends — time to fight hunger! *Pest Management Science*. 2009;65(4):351–352. doi: 10.1002/ps.1718
13. Moores PJ, Atkinson IAE, Sherley GH. Reducing the rat threat to island birds. *Bird Conservation International*. 1992;2(2):93–114. doi: 10.1017/S0959270900002331
14. 1Karrijow R, Astarkhanova TS, Ryabov SV. On the issue of improving deratization measures with the help of encapsulated baits. In: *International Scientific Conference of young scientists and specialists dedicated to the 135th anniversary of the birth of A.N. Kostyakov. Volume 1*. Moscow; 2022. p.186–190. (In Russ.).
15. Wood BJ, Fee CG. A critical review of the development of rat control in Malaysian agriculture since the 1960s. *Crop protection*. 2003;22(3):445–461. doi: 10.1016/S0261-2194(02)00207-7

Об авторах:

Рябов Сергей Васильевич — ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией экспериментальных моделей, Научно-исследовательский институт системной биологии и медицины, 117246, Российская Федерация, г. Москва, Научный пр., д. 18; e-mail: ryabovsv@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7863-7576

Введенский Валентин Валентинович — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, агробиологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 17198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: vaval-ved@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2977-2616

Долженко Татьяна Васильевна — доктор биологических наук, профессор кафедры защиты и карантина растений, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2; e-mail: dolzhenkotv@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4139-2664

Каррижо Раним — аспирант, агробиологический департамент аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 17198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: 1042205065@rudn.ru
ORCID: 0009-0009-9405-5136

About authors:

Ryabov Sergey Vasilievich — Leading Researcher, Head of the Laboratory of Experimental Models, Research Institute for Systems Biology and Medicine, 18 Nauchny driveway, Moscow, 117246, Russian Federation; e-mail: ryabovsv@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7863-7576

Vvedensky Valentin Valentinovich — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Agrobiotechnology Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 17198, Russian Federation; e-mail: vaval-ved@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-2977-2616

Dolzhenko Tatyana Vasilievna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Plant Protection and Quarantine, St. Petersburg State Agrarian University, 2 Peterburgskoye Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; e-mail: dolzhenkotv@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4139-2664

Karrijow Ranim — Graduate Student, Agrobiotechnology Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 17198, Russian Federation; e-mail: 1042205065@rudn.ru
ORCID: 0009-0009-9405-5136



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-493-500

EDN: KUDCXO

УДК 631.147:632.93:634.8

Научная статья / Research article

Эффективность биоинсектицида на основе энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* для защиты винограда

В.И. Долженко¹ , О.В. Шаповал² ,
Ю.Н. Плескачев³ , Т.С. Астарханова⁴  

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, г. Санкт-Петербург, Пушкин, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, г. Москва, Российская Федерация

³Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Московская обл., Российская Федерация

⁴Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 astarkhanova-ts@rudn.ru

Аннотация. Рассматривается актуальная проблема загрязнения сельскохозяйственной продукции токсичными веществами в производстве. К самым обрабатываемым химическими препаратами культурам относятся виноградники. В результате многократных обработок за один вегетационный период виноградные насаждения становятся аккумулятором небезопасных химических средств защиты растений. Соответственно, подбор экологически безопасных пестицидов, замена химических препаратов биологическими — задача производителей данной культуры. Актуальность обусловлена еще и тем, что виноград потребляется в пищу в свежем виде. Проведена оценка применения биоинсектицида на основе энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* в системе защиты винограда от вредителей. По литературным данным 90 % зарегистрированных инсектицидов разработаны на основе *Bacillus thuringiensis*. Выделяемые из природы микроорганизмы в качестве средств защиты растений при обратном внесении в природные условия позволяют сохранять полезные виды в биоценозах, при этом, обладая селективностью и поражая определенные вредные объекты, не причиняют вреда человеку и окружающей среде. Цель исследования — изучение влияния биоинсектицида Биомеч Инсекто, СП на вредителей виноградной лозы: гроздевую листовёртку (*Lobesia botrana* Den. & Schiff.) и листовую форму филлоксеры (*Viteus vitifolii* Fitch.). В исследовании использован биоинсектицид Биомеч Инсекто, СП на основе штаммов *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* HG207 и *Beauveria bassiana* HG208. Влияние энтомопатогенов сравнивалось

© Долженко В.И., Шаповал О.В., Плескачев Ю.Н., Астарханова Т.С., 2023



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

с действием инсектицида Биослип, БВ, Ж, действующим веществом которого является *Beauveria bassiana*. Установлена высокая биологическая эффективность биоинсектицида Биомеч Инсекто, СП, достигающая 90...100 % в защите виноградной лозы от вредителей при обработке в период массового отрождения гусениц гроздевой листовертки и выхода личинок из галлов листовой формы филлоксеры всех поколений.

Ключевые слова: гроздевая листовертка, листовая форма филлоксеры, виноградная лоза, Биомеч Инсекто, *Beauveria bassiana*

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Биомеч Инсекто, СП не зарегистрирован и применяется для научных целей.

История статьи: поступила в редакцию 17 сентября 2023 г., принята к публикации 5 октября 2023 г.

Для цитирования: Долженко В.И., Шаповал О.В., Плескачев Ю.Н., Астарханова Т.С. Эффективность биоинсектицида на основе энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* для защиты винограда // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 493—500. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-493-500

Efficiency of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticide in grapevine protection

Viktor I. Dolzhenko¹ , Olga V. Shapoval² ,
Yuri N. Pleskachev³ , Tamara S. Astarkhanova⁴  

¹All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russian Federation

²Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

³Federal Research Center «Nemchinovka», Moscow region, Russian Federation

⁴RUDN University, Moscow, Russian Federation

 astarkhanova-ts@rudn.ru

Abstract. The problem of contamination of agricultural products with toxic substances is an urgent problem in production. One of the most chemically treated crop is vineyards. Multiple treatments during one growing season have led to the fact that grape plantings have become an accumulator of unsafe chemical plant protection products. Moreover, grapes are consumed fresh. Accordingly, the selection of environmentally friendly pesticides and the replacement of chemicals with biological ones has become a priority for producers of this crop. Our research was devoted to evaluation of bioinsecticide based on entomopathogenic bacteria *B. thuringiensis* in the system of protecting grapes from pests. Such studies are of great interest and, according to the literature, 90 % of registered insecticides are based on *Bacillus thuringiensis*. Microorganisms isolated from nature as plant protection agents, when reintroduced into natural conditions, preserve beneficial species in biocenoses. At the same time, they are selective and, while affecting certain harmful objects, do not cause harm to humans and the environment. The purpose of this work was to study the effect of the bioinsecticide Biometch Insecto, WP on grapevine pests: European grape worm (*Lobesia botrana* Den. & Schiff.) and leafy form of phylloxera (*Viteus vitifolii* Fitch.). Biometch Insecto, WP is based on strains of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* HG207 and *Beauveria bassiana* HG208. The effect of entomopathogens was compared with the effect of insecticide Bioslip, BW, L, the active ingredient of which is *Beauveria bassiana*. The results of the research revealed high biological effectiveness (90...100 %) of Biometch Insecto, WP in protecting grapevines from pests when applied during the period of mass hatching of European grape worm caterpillars and emergence of phylloxera larvae from galls.

Keywords: European grape worm, leaf form of phylloxera, grapevine, Biometch Insecto, *Beauveria bassiana*

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest. Biometch Insecto, WP is not registered and is used for scientific purposes.

Article history: Received: 17 September 2023. Accepted: 5 October 2023.

For citation: Dolzhenko VI, Shapoval OV, Pleskachev YN, Astarkhanova TS. Efficiency of *Bacillus thuringiensis* bioinsecticide in grapevine protection. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):493—500. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-493-500

Введение

Деятельность человека вступила «в противоречие с глобальной проблемой защиты окружающей среды, которое вызвало острую необходимость применения вместо сильнодействующих химических средств защиты, препаратов, не оказывающих вредного воздействия на человека и окружающую среду» [1].

Особенно это проблема видна при производстве винограда, где за один вегетационный период применяются 12-кратные обработки, исключены севообороты из-за монокультуры, и поэтому необходимо снижение токсикологической нагрузки на агроценозы виноградных насаждений.

Виноград потребляется в свежем виде и разложение вредных токсикантов, которое могло бы произойти при термической обработке, невозможно [2, 3].

Высокая биологическая эффективность и быстрота действия химических пестицидов способствовали получению высоких урожаев данной культуры, но выявлены и отрицательные последствия применения химических средств защиты — их накопление в объектах экосистемы и возникновение резистентных к ним популяций вредных организмов [4, 5], что привело к резкому «увеличению численности фитофагов и появлению массовых вспышек эпифитотий болезней, требующих все большего применения химических средств для их контроля» [6]. Эти и другие негативные последствия применения пестицидов обусловили осознание необходимости совершенствования защиты растений, перехода от отдельных приемов и способов к их интеграции в системе, разработки более экологичных средств и методов [7]. Таковыми являются биопестициды, представляющие собой «непосредственно природные материалы или разработанные на их основе препараты»¹. Производство биопестицидов экономически более выгодно и экологически безопасно.

В современном производстве средств защиты растений бактериальные препараты, относящиеся к инсектицидам нового поколения, эффективны в отношении порядка 400 видов насекомых, включая вредителей виноградников, и 90 % зарегистрированных инсектицидов разработаны на основе *Bacillus thuringiensis* [8, 9]. Бактерии продуцируют специфические кристаллоподобные токсины, обладающие большой энтомоцидной активностью [10].

Гриб *Bacillus thuringiensis*, var. *kurstaki* обладает кишечным действием, его эффективность проявляется только при попадании в кишечник насекомого в процессе активного питания. Токсин, активированный в кишечном тракте гусеницы, повреждает внутреннюю оболочку кишечника, в результате нарушается осмо-

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1984. 336 с.

тическое равновесие и щелочное содержимое кишечника просачивается в тело гусеницы [11, 12].

Гриб *Beauveria bassiana* «размножается только конидиями, которые, попав на тело насекомого, выделяют фермент в местах прикрепления. Он растворяет кутикулу, и конидии прорастают в полость тела. Выделяемые грибом в процессе развития токсины приводят к гибели насекомого» [13]. Дальнейшее развитие гриба происходит уже в мертвом насекомом [14]. Эффективность применения биопрепаратов в защите винограда от вредителей и болезней зависит от знания «реальной фитосанитарной ситуации в насаждениях, от устойчивости сортов, агротехники и природно-климатических условий применяемого периода. После обоснования биологизации защиты при производстве винограда должны определять ассортимент препаратов, их сроки применения» [15].

Цель исследования — оценка эффективности влияния биоинсектицида Биомеч Инсекто, СП на основе штаммов *Bacillus thuringiensis var. kurstaki* HG207 и *Beauveria bassiana* HG208 на вредителей виноградной лозы: гроздевую листовертку (*Lobesia botrana* Den. & Schiff.) и листовую филлоксеру (*Viteus vitifolii* Fitch.).

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на виноградной лозе сорта Рислинг во второй почвенно-климатической зоне в условиях Республики Дагестан. Материалом исследований служил инсектоакарицид Биомеч Инсекто, СП, представленный для научных целей.

Опыт мелкоделяночный — 5 кустов. Учеты гроздевой листовертки проводились в соответствии с Методическими указаниями по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022.

Филлоксера (листовая форма) — *Viteus vitifolii* Fitch проявлялась в период отрождения из зимующих яиц личинок (основательниц листовой филлоксеры) и заселялись в распускающихся почках, что совпадало с появлением 4–5 листьев на побегах. Обработки проводились в период массового выхода из галлов личинок первого и второго поколений, что совпадало с появлением 9...12 или 17...20 листьев на побегах. Учеты проводились трехкратно, перед обработкой, на 30-е сутки после обработки и в конце вегетации.

Расчет биологической эффективности проводили по формуле Хендерсона и Тилтона. Если точно установить количество погибших насекомых не представлялось возможным, определение эффективности производили по формуле Аббота.

Результаты исследования и обсуждение

В период проведения опытов на виноградных насаждениях с появлением 17...20 листьев на побегах отмечалось отрождение гусениц гроздевой листовертки 1 поколения и массовый выход из галлов личинок второго поколения. Обработки

проводили ранцевым опрыскивателем марки Solo из расчета расхода 500 л/га рабочей жидкости трехкратно с интервалом 7 дней.

Испытываемый биоинсектицид Биомеч Инсекто, СП на виноградной лозе показал высокую эффективность в борьбе гроздовой листоверткой. Среднее число гусениц на 1 м² в варианте 1 (норма расхода 0,7 кг/га) на 3-и сутки после последней обработки составляло 7,5 экз / м² и на 21-е сутки снизилось до 3,0 экз / м², биологическая эффективность возрастала от 79,5 до 91,1 %. С повышением нормы расхода препарата Биомеч Инсекто, СП до 2,0 кг/га (вариант 2) среднее число гусениц на 1 м² снизилось до 2,5 экз / м², эффективность Биомеч Инсекто, СП достигала 92,6 %. Эффективность испытываемого препарата была близка к эффективности эталона Биослип, БВ, Ж (действующее вещество — *Beauveria bassiana*), с применением которого среднее число гусениц на 1 м² снижалось до 2,3 экз / м² и эффективность достигала 93,4 % (табл. 1).

Таблица 1

Биологическая эффективность инсектицида Биомеч Инсекто, СП в борьбе с гроздовой листоверткой (*Lobesia botrana*) на виноградной лозе

Вариант опыта	Норма расхода препарата	Повторность	Среднее число гусениц на 1 м ²					Снижение численности с поправкой на контроль после обработки по суткам учетов, %			
			До обработки	После обработки по суткам учетов				3	7	14	21
				3	7	14	21				
1. Биомеч Инсекто, СП	0,7 кг/га	1	25,1	9	7	5	3	71,4	77,9	83,4	89,6
		2	31,2	7	6	4	2	82,1	84,7	89,3	94,4
		3	29,9	8	5	2	4	78,6	86,7	94,4	88,4
		4	30,8	6	6	3	3	84,4	84,5	91,9	91,5
		ср.	29,3	7,5	6,0	3,5	3,0	79,5	83,7	90,0	91,1
2. Биомеч Инсекто, СП	2,0 кг/га	1	27,2	7	5	4	3	79,4	85,4	87,7	90,4
		2	32,8	8	4	2	2	80,5	90,3	94,9	94,7
		3	30,6	6	5	4	3	84,3	87,0	89,1	91,5
		4	27,4	7	7	2	2	79,6	79,7	93,9	93,7
		ср.	29,5	7,0	5,3	3,0	2,5	81,0	85,9	91,5	92,6
3. Биослип, БВ, Ж Эталон	3,0 л/га, двукратно	1	25,7	7	5	3	2	78,2	84,6	90,3	93,2
		2	33,1	5	3	3	3	87,9	92,8	92,4	92,1
		3	30,9	8	5	2	2	79,3	87,2	94,6	94,4
		4	28,8	7	6	3	2	80,6	83,5	91,3	94,0
		ср.	29,6	6,8	4,8	2,8	2,3	81,8	87,3	92,3	93,4
В среднем к контролю	—	ср.	29,4	36,8	46,4	55,7	64,2	—	—	—	—

Обработки, проведенные в период массового выхода из галлов личинок второго поколения и через 7 и 14 дней после первой обработки, показали высокую эффективность препарата в борьбе с листовой формой филлоксеры — *Viteus vitifolii* Fitch.

На 30-е сутки после обработки число заселенных кустов снижалось в среднем до 1,0 в варианте 1 и до 0,75 — в варианте 2, или на 74,2 и 79,2 % соответственно. Интенсивность галлообразования к концу вегетации в варианте 1 соответствовала 0,5 балла, до обработки — 4,0 балла, при снижении интенсивности галлообразования до 86,7 %. С повышением нормы расхода до 2,0 кг (вариант 2) эффективность препарата достигла 0,25 балла при снижении интенсивности галлообразования до 90,0 %. В варианте эталона Биослип, БВ, Ж показатели не имели существенной разницы с показателями варианта с Биомеч Инсекто, СП, снижение интенсивности галлообразования составляло 88,8 % (табл. 2).

Таблица 2

Биологическая эффективность инсектицида Биомеч Инсекто, СП в борьбе с листовой филлоксерой на виноградной лозе (*Dactylophaera vitifoliae*)

Вариант опыта	Норма расхода препарата	Повторность	Число заселенных кустов		Интенсивность галлообразования, балл		Снижение относительно исходной с поправкой на контроль, %		Биологический урожай ягод, ц/га
			До обработки	Через 30 суток после обработки	До обработки	В конце вегетации	Заселенности кустов	Интенсивности галлообразования	
1. Биомеч Инсекто, СП	0,7 кг/га	1	5	1	5	1	80,0	80,0	70,2
		2	4	1	4	0	75,0	100,0	70,5
		3	3	1	3	1	66,7	66,7	70,3
		4	4	1	5	0	75,0	100,0	71,2
		ср.	4	1,0	4,3	0,5	74,2	86,7	70,6
2. Биомеч Инсекто, СП	2,0 кг/га	1	5	1	4	0	75,0	80,0	78,5
		2	5	0	5	1	100,0	80,0	78,9
		3	3	1	5	0	66,7	100,0	82,1
		4	4	1	3,5	0	75,0	100,0	80,8
		ср.	3,8	0,75	4,4	0,25	79,2	90,0	80,1
3. Биослип, БВ, Ж Эталон	3,0 л/га	1	4	1	3	0	75,0	100,0	79,6
		2	5	1	4	1	80,0	75,0	78,5
		3	5	1	5	1	80,0	80,0	74,8
		4	4	1	3	0	75,0	100,0	77,5
		ср.	4,5	1,0	3,8	0,25	77,5	88,8	77,6

Заключение

Из данных, полученных в опытах по применению биоинсектицида Биомеч Инсекто, СП для обработки от вредителей виноградной лозы, следует:

1. Биомеч Инсекто, СП в норме расхода 0,75...2,0 кг/га обеспечивает защиту виноградной лозы от гроздевой листовертки (*Lobesia botrana* Den. & Schiff.) и листовой формы филлокеры (*Viteus vitifolii* Fitch.).

2. В зависимости от года исследований и почвенно-климатической зоны срок ожидания препарата может варьировать от 14 до 21 дня.

3. Обработку биоинсектицидом Биомеч Инсекто, СП можно проводить в период отрождения гусениц первого поколения гроздевой листовертки с интервалом в 7 дней трехкратно.

4. Борьбу с листовой формой филлоксеры (*Viteus vitifolii* Fitch.) можно проводить в период массового выхода из галлов личинок первого поколения в норме расхода 0,7...2,0 кг/га.

Список литературы

1. Жемчужин С.Г. Биопестициды: открытие, изучение и перспективы применения // *Агрохимия*. 2014. № 3. С. 90–96.
2. Штернис М.В. Факторы оптимизации энтомопатогенных препаратов для защиты растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Л.: ВИЗР; 1989. 32 с.
3. Joshi R.K. Leucas aspera link essential oil from India: β -caryophyllene and 1-octen-3-ol chemotypes // *J. Chromatogr. Sci.* 2016. Vol. 54. № 3. P. 295–298. doi: 10.1093/chromsci/bmv173
4. Liang J.Y., Guo S.S., You C.X., Zhang W.J., Wang C.F., Geng Z.F., Deng Z.W., Du S.S., Zhang J. Chemical Constituents and Insecticidal Activities of *Ajania fruticulosa* Essential Oil // *Chem. Biodivers.* 2016. Vol. 13. № 8. P. 1053–1057. doi: 10.1002/cbdv.201500377
5. Кубрик К.Ю., Новокрепцов А.С., Корчемнова Л.Г. Применение инсектицидных растений против паутинного клеща (*Tetranychus urticae*) в условиях теплицы // Омская биологическая школа: ежегодник: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 9. Омск: Омск. Гос. пед. Ун-т, 2012. С. 92–94.
6. Жемчужин С.Г., Спиридонов Ю.Я., Босак Г.С. Биопестициды: Современное состояние проблемы // *Агрохимия*. 2019. № 11. С. 77–85. doi: 10.1134/S0002188119110140
7. Мисриева Б.У. Биология гроздевой листовертки и меры борьбы с ней в условиях Южного Дагестана // *Защита и карантин растений*. 2022. № 5. С. 21–24.
8. Бульгинская М.А. Биологизация защиты растений: состояние и перспективы. Краснодар, 2000. С. 30–32.
9. Талаш А.И., Пойманов В.Е., Агапова С.И. Защита винограда от болезней, вредителей, сорняков. Ростов-н/Д, 2001. 178 с.
10. Мисриева Б.У. Вредоносность листовой формы филлоксеры на виноградниках в Южной зоне Дагестана // *Вестник Социально-педагогического института*. 2014. № 1 (9). С. 52–58.
11. Исмаилов В.Я., Коваленков В.Г., Надькта В.Д. Состояние, проблемы и перспективы биологической защиты растений от вредителей // *Актуальные вопросы биологизации защиты растений*. Пушкино, 2000. С. 100–120.
12. Щербиков Н.А., Талаш А.И., Исмаилов В.Я., Каклюгин В.Я. Перспективы применения биостата в защите винограда от вредных организмов // *Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / ВНИИБЗР*. Краснодар, 2004. Вып. № 2. С. 329–335.
13. Margalit J. Discovery of *Bacillus thuringiensis israelensis* // *Bacterial control of mosquitoes & black flies. Biochemistry, genetics & applications of Bacillus thuringiensis israelensis and Bacillus sphaericus* / H. de Barjac, D.J. Sutherland (eds.). London, UK: Unwin Hyman, 1990. P. 3–9.
14. Щербиков Н.А., Исмаилов В.Я., Талаш А.И. Биостат — препарат полифункционального действия // *Защита и карантин растений*. 2007. № 5. С. 26–27.
15. Каменек Л.К. Дельта-эндотоксин *Bacillus thuringiensis*: строение, свойства и использование для защиты растений: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 1998. 40 с.

Об авторах:

Долженко Виктор Иванович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, руководитель Центра биологической регламентации, Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Российская Федерация, 196608, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3; e-mail: dolzhenko@icrz.ru

ORCID 0000-0003-4700-0377

Шаповал Ольга Владимировна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а; e-mail: elgen@mail.ru
ORCID 0000-0002-3375-527X

Плескачев Юрий Николаевич — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, центр по земледелию, Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», Российская Федерация, 143026, Московская область, г.п. Одинцово, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, д. 6; e-mail: pleskachiov@yandex.ru
ORCID 0000-0001-5771-5021

Астарханова Тамара Саржановна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: astarkhanova-ts@rudn.ru
ORCID 0000-0002-1431-9309



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-501-507

EDN: LDMWUJ

УДК 631.147:632.4:633.491

Научная статья / Research article

Оценка эффективности биопрепаратов для контроля наиболее значимых микозов на посадках картофеля

Е.Н. Пакина¹  , С.И. Шкуркин² , М.Т. Мухина² 

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

²Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,
г. Москва, Российская Федерация

 e-pakina@yandex.ru

Аннотация. Опыты по сравнительной оценке эффективности биологических препаратов Метабактерин, СП на основе действующего вещества *Methylobacterium extorquens* NVD ВКМ В-2879D + Валидамицина *Streptomyces hygrosopicus* subsp. «*limoneus*» ВКПМ АС-1966 + *Bacillus subtilis* ВКПМ В-2918 ИПМ 215 и Витаплан на основе *Bacillus subtilis*, штамм ВКМ-В-2604D + *Bacillus subtilis*, штамм ВКМ-В-2605D для контроля наиболее значимых грибных болезней проводились на посадках селекционной линии картофеля в Зерноградском районе Ростовской области. Установлено, что препарат Метабактерин, СП в норме расхода 80 г/га оказался наиболее эффективным для контроля альтернариоза, фитофтороза, фузариоза и ризоктониоза на картофеле, при этом период защитного действия препарата против этих грибных болезней составил от 19 до 27 дней. Отмечено, что данная норма расхода Метабактерина, СП обеспечила максимальную прибавку урожайности картофеля.

Ключевые слова: альтернариоз, фитофтороз, фузариоз, ризоктониоз, Метабактерин, Витаплан

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Препарат был представлен для научных исследований с целью проведения дальнейших регистрационных испытаний.

Финансирование. Благодарности. Публикация подготовлена при поддержке Минобрнауки России (проект FSSF-2023–0015).

История статьи: поступила в редакцию 20 октября 2023 г., принята к публикации 15 ноября 2023 г.

Для цитирования: Пакина Е.Н., Шкуркин С.И., Мухина М.Т. Оценка эффективности биопрепаратов для контроля наиболее значимых микозов на посадках картофеля // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 501—507. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-501-507

© Пакина Е.Н., Шкуркин С.И., Мухина М.Т., 2023



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

Effectiveness of biological products for control of the most significant mycoses on potato crops

Elena N. Pakina¹  , Sergey I. Shkurkin¹ , Maria T. Mukhina² 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

 e-pakina@yandex.ru

Abstract. Experiments on comparative assessment of effectiveness of bioagents to control the most significant fungal diseases were carried out on crops of potato breeding line in the Zernograd district, Rostov region. Biofungicide Metabakterin, WP based on *Methylobacterium extorquens* NVD VKM B-2879D + Validamycin *Streptomyces hygroscopicus* subsp. *limoneus* VKPM AC-1966 + *Bacillus subtilis* VKPM B-2918 IPM 215 and biofungicide Vitaplan based on *Bacillus subtilis*, strain VKM-B-2604D + *Bacillus subtilis*, strain VKM-B-2605D were studied in the research. The results showed that Metabakterin, WP at the rate of 80 g/ha was the most effective for control of early blight, late blight, fusarium dry rot and rhizoctonia canker on potatoes, while protection period of the biofungicide against these fungal diseases ranged from 19 to 27 days. It was noted that application rate of 80 g/ha of Metabakterin, WP provided the maximum increase in potato yield.

Key words: early blight, late blight, fusarium dry rot, rhizoctonia canker, Metabakterin, Vitaplan

Conflicts of interest: The authors declared no conflicts of interest. The biofungicide was submitted for scientific research to conduct further registration trials.

Funding. The publication was prepared with the support of the Russian Ministry of Education and Science (project no. FSSF-2023–0015).

Article history: Received: 20 October 2023. Accepted: 15 November 2023.

For citation: Pakina EN, Shkurkin SI, Mukhina MT. Effectiveness of biological products for control of the most significant mycoses on potato crops. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4): 501–507. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-501-507

Введение

Картофель занимает одно из первых мест среди сельскохозяйственных культур по сбору сухого вещества с единицы площади, при этом его клубни являются универсальным продуктом, основным источником витамина С. Значение картофеля как одной из основных продовольственных культур РФ трудно переоценить, среднегодовой объем потребления данной культуры только на продовольственные цели оценивается в 15 млн т. Однако большая доля рынка сегодня занята сортами иностранной селекции, особенно это касается семенного посадочного материала, что является серьезным вызовом продовольственной безопасности страны, в связи с чем согласно плану Минсельхоза РФ к 2025 г. половина семенного картофеля должна быть российского производства. Среди задач современной селекции кар-

тофеля, помимо создания высокопродуктивных сортов с высокими вкусовыми качествами, в программе семеноводства обозначена обязательная адаптивность сортов к биотическим и абиотическим факторам среды при возделывании в различных природно-климатических условиях [1, 2].

Проблема адаптации посадочного материала, полученного *in vitro*, к условиям открытого грунта заключается не только в успешной приживаемости растений, но и в их способности противостоять стрессу, вызываемому комплексом вторичных фитопатогенов, среди которых наиболее вредоносны для картофеля альтернариоз, фитофтороз, фузариоз и ризоктониоз¹ [3–6]. Химические фунгициды, традиционно используемые для контроля патогенной микробиоты, часто создают дополнительный стресс для молодых растений [7, 8], при этом для сохранения хозяйственно-ценных признаков культуры, особенно на селекционных посевах, предпочтительно использовать нехимические методы контроля фитопатогенов для снижения пестицидной нагрузки на растения и улучшения физиолого-биохимических показателей конечной продукции [2, 9, 10].

Цель исследования — оценка эффективности препаратов Метабактерин, СП и Витаплан для контроля альтернариоза, фитофтороза, фузариоза, ризоктониоза на посадках селекционной линии картофеля и их влияния на формирование урожайности культуры.

Материалы и методы исследования

В практике контроля микозов на картофеле из числа нехимических препаратов наиболее часто применяется Витаплан на основе *Bacillus subtilis*, штамм ВКМ-В-2604D + *Bacillus subtilis*, штамм ВКМ-В-2605D в рекомендованной норме расхода 20 г/га. Витаплан наряду с Метабактерином, СП на основе действующего вещества *Methylobacterium extorquens* NVD ВКМ В-2879D + Валидамицина *Streptomyces hygrosopicus* subsp. «*limoneus*» ВКПМ АС-1966 + *Bacillus subtilis* ВКПМ В-2918 ИПМ 215 использовался нами при отработке системы контроля наиболее значимых болезней на картофеле в условиях открытого грунта.

Исследования по оценке эффективности препаратов Метабактерин, СП и Витаплан проводили на посадках селекционной линии картофеля в Зерноградском районе Ростовской области на четырех опытных делянках размером 25 м² с последовательным расположением в четырехкратной повторности в соответствии с Методическими указаниям по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве².

Предпосадочную обработку клубней препаратом Метабактерин, СП на основе действующего вещества *Methylobacterium extorquens* NVD ВКМ В-2879D + Валидамицина *Streptomyces hygrosopicus* subsp. «*limoneus*» ВКПМ АС-1966 + *Bacillus subtilis* ВКПМ В-2918 ИПМ 215 с концентрацией

¹ Ганнибал Ф.Б. Мониторинг альтернариозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*: методическое пособие. СПб, 2011. 70 с.

² Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Долженко. СПб.: ВИЗР. 2009. 378 с.

титра не менее 10^{10} КОЕ/г + 0,5 г/кг + титр не менее 10^{10} КОЕ/г проводили из расчета 15 г/т и 20 г/т. Последующие обработки по вегетирующим растениям проводили трехкратным опрыскиванием в период вегетации после появления 2–4 настоящих листьев и далее с интервалом между обработками в 12–14 дней из расчета 40+40+40 г/га и 80+80+80 г/га. Предпосадочная обработка клубней препаратом Витаплан титр 10^{10} + 10^{10} КОЕ/г *Bacillus subtilis*, штамм ВКМ-В-2604D + *Bacillus subtilis*, штамм ВКМ-В-2605D проводилась из расчета 20 г/т с последующей трехкратной обработкой по вегетирующим растениям после появления 2–4 настоящих листьев и далее с интервалом между обработками в 12–14 дней из расчета 20+20+20 г/га. Обработку препаратами проводили с использованием ранцевого помпового опрыскивателя «Жук Оптима» с расходом рабочей жидкости 300 л/га (табл. 1).

Таблица 1

Схема опыта по оценке эффективности препарата Метабактерин, СП

№ варианта	Препарат	Норма расхода
1	Метабактерин, СП	15 г/т + (40 + 40 + 40 г/га)
2	Метабактерин, СП	20 г/т + (80 + 80 + 80 г/га)
3	Витаплан титр 10^{10} + 10^{10} КОЕ/г <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2604D + <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2605D	20 г/т + (20 + 20 г/га)
4	Контроль (без обработки)	–

Уборку урожая картофеля осуществляли вручную с 10 кустов с 3 рядков каждой учетной делянки. Статистическому анализу подвергали полученные результаты полевых опытов, а также данные урожая с применением программного средства MS Excel.

Результаты исследования и обсуждение

На посадках картофеля среди грибных заболеваний были отмечены альтернариоз (*Alternaria sp.*), фитофтороз (*Phytophthora sp.*), фузариоз (*Fusarium sp.*) и ризоктониоз (*Rhizoctonia sp.*), типичные для культуры микозы¹ [2, 4, 5, 8, 11–14]. Биологическая эффективность препарата Метабактерин, СП в норме расхода 40 г/га против альтернариоза была на уровне 78,1 %. При этом с повышением нормы расхода до 80 г/га его эффективность повысилась до 81,2 %. Препарат Витаплан в норме расхода 20 г/га контролировал развитие альтернариоза на 77,5 %. В состав Метабактерина, СП помимо бактерии *Bacillus subtilis*, являющейся основным активным компонентом препарата Витаплан, входят также *Methylobacterium extorquens* и *Streptomyces hygrosopicus* subsp., что обеспечивает более высокую эффективность препарата. Комплекс из двух родов бактерий и актиномицета способны в большей степени подавлять фитопатогенную микробиоту, чем монокомпонентные биопрепараты.

Для контроля фитофтороза испытанный препарат Метабактерин, СП в норме расхода 40 г/га показал эффективность 73,2 %, увеличение нормы расхода до 80 г/га

способствовало повышению эффективности до 80,3 %. При этом эффективность Витаплана в норме расхода 20 г/га оказалась на уровне 71,8 %.

При эффективности в 69,3 % против фузариоза при норме расхода 40 г/га препарат Метабактерин, СП оказался близок к Витаплану в норме расхода 20 г/га с эффективностью в 68,2 %. Повышение нормы расхода до 80 г/га не привело к существенному увеличению эффективности, составив 70,2 %.

При контроле ризоктониоза препарат Метабактерин, СП в норме расхода 40 г/га показал эффективность 67,3...68,2 %, что оказалось ниже, чем у препарата Витаплан в норме расхода 20 г/га при эффективности 68,4...69,38 %. При повышении нормы расхода до 80 г/га эффективность Метабактерина, СП увеличилась до 71,4...73,2 %. (табл. 2 и 3).

Прибавка урожая, полученная в варианте с препаратом Метабактерин, СП, в норме расхода 40 г/га составила 10,9 %, повышение нормы расхода до 80 г/га обеспечило прибавку урожая в 13,9 %, при использовании препарата Витаплан урожайность увеличилась на 11,7 % по сравнению с контролем (табл. 4).

Таблица 2

Эффективность препарата Метабактерин, СП против альтернариоза, фитофтороза, фузариоза на селекционной линии картофеля, Ростовская область, 2023 г.

Вариант опыта	Норма расхода препарата, л/га	Кратность обработок	Даты обработок: 5 и 27 мая; 10 и 24 июня													
			Альтернариоз						Фитофтороз				Фузариоз			
			05.06		15.06.		25.06.		15.06.		25.06.		25.06.		05.07	
			Развитие, %	Эффективность, %	Развитие, %	Эффективность, %	Развитие, %	Эффективность, %	Развитие, %	Эффективность, %	Развитие, %	Эффективность, %	Развитие, %	Эффективность, %	Развитие, %	Эффективность, %
Метабактерин, СП (15 г/т + (40+40+40 г/га))	40 г/га	4	6,8	63,8	9,4	62,8	7,6	78,1	4,2	66,9	5,6	73,2	6,2	70,9	9,3	69,3
Метабактерин, СП (20 г/т + (80+80+80 г/га))	80 г/га	4	5,6	70,2	8,0	68,4	6,5	81,2	2,4	81,1	4,1	80,3	5,5	74,2	9,0	70,2
Витаплан титр 10 ¹⁰ + 10 ¹⁰ КОЕ/г <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2604D + <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2605D	20 г/га	4	5,8	69,1	8,3	67,2	7,8	77,5	3,6	71,6	5,9	71,8	6,1	71,4	9,6	68,2
Контроль (без обработки)	–	–	18,8	–	25,3	–	34,6	–	12,7	–	20,9	–	21,3	–	30,2	–

Таблица 3

Эффективность препарата Метабактерин, СП против ризоктониоза на селекционной линии картофеля, Ростовская область, 2023 г.

Вариант опыта	Норма расхода препарата, л/га	Кратность обработок	Даты обработок: 5 и 27 мая; 10 и 24 июня			
			Ризоктониоз			
			25.06		05.07	
			Развитие, %	Эффективность, %	Развитие, %	Эффективность, %
Метабактерин, СП (15г/т + (40+40+40 г/га))	40 г/га	4	6,4	67,3	10,7	68,2
Метабактерин, СП (20 г/т + (80+80+80 г/га))	80 г/га	4	5,6	71,4	9,0	73,2
Витаплан титр 10 ¹⁰ + 10 ¹⁰ КОЕ/г <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2604D+ <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2605D	20 г/га	4	6,2	68,4	10,3	69,3
Контроль (без обработки)	–	–	19,6	–	33,6	–

Таблица 4

Урожайность селекционной линии картофеля при использовании препарата Метабактерин, СП (Ростовская область, 2023 г.)

Варианты опыта	Урожайность по повторностям, т/га				Средняя урожайность	
	1	2	3	4	т/га	% к контролю
Метабактерин, СП (15г/т + (40+40+40 г/га))	25,0	25,8	25,8	25,9	25,6	110,9
Метабактерин, СП (20 г/т + (80+80+80 г/га))	23,9	27,2	28,4	25,8	26,3	113,9
Витаплан титр 10 ¹⁰ + 10 ¹⁰ КОЕ/г <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2604D+ <i>Bacillus subtilis</i> , штамм ВКМ-В-2605D	23,8	25,5	27,8	26,1	25,8	111,7
Контроль (без обработки)	20,0	23,1	24,5	24,8	23,1	100
НСР(05)% = 2,59						

Заключение

Результаты опытного сравнения эффективности препаратов Метабактерин, СП и Витаплан для контроля альтернариоза, фитофтороза, фузариоза, ризоктониоза на посадках селекционной линии картофеля и их влияния на формирование урожайности культуры привели к выводам:

- 1) использование биофунгицида Метабактерин, СП в норме расхода 80 г/га обеспечивает максимальную прибавку урожая картофеля;
- 2) период защитного действия биофунгицида Метабактерин, СП составляет: против альтернариоза — 19, фитофтороза — 22, фузариоза — 21, ризоктониоза — 27 дней;

3) благодаря поликомпонентному составу препарат Метабактерин, СП в норме расхода 80 г/га наиболее эффективен для контроля альтернариоза, фитофтороза, фузариоза и ризоктониоза на картофеле.

Список литературы

1. Зейрук В.Н., Глѣз В.М. Подготовка семенного материала и посадка картофеля // Защита и карантин растений. 2010. № 2. С. 61–63.
2. Osipov V, Zhevorra S., Yanushkina N. Efficiency of potato production: analysis of variation and differentiation of regions of the Russian Federation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science electronic resource. 2019. P. 012060. doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012060
3. Ганнибал Ф.Б. Виды рода *Alternaria*, обнаруженные в России и на некоторых соседних территориях // Микология и фитопатология. 2015. Т. 49. № 6. С. 374–385.
4. Bradshaw N.J. Report of the fungicide sub-group: Discussion of potato early and late blight fungicides, their properties & characteristics and harmonised protocols for evaluating these // PPO-Special Report. 2007. № 12. P. 107.111.
5. Elansky S.N., Pobedinskaya M.A., Kokaeva L. Yu., Statsyuk N.V., Alexandrova A.V. Molecular identification of the species composition of Russian isolates of pathogens, causing early blight of potato and tomato // PPO-Special Report. 2012. № 15. P. 151–156.
6. Анисимов Б.В., Зебрин С.Н., Зейрук В.Н. Сухие и мокрые гнили клубней и их контроль в семеноводстве картофеля // Защита и карантин растений. 2017. № 5. С. 30–35.
7. Власенко Н.Г., Бокина И.Г. Экологизация защиты растений в условиях интенсификации // Главный агроном. 2018. № 9. С. 7–10.
8. Abbas M.F., Naz F., Irshad G. Important fungal diseases of potato and their management — A brief review // Mycopath. 2013. № 11. P. 45–50.
9. Надькита В.Д. Основные результаты исследований ВНИИБЗР в области биологической защиты растений // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современные мировые тенденции в производстве и применении биологических и экологически малоопасных средств защиты растений». Краснодар, 2012. С. 20–22.
10. Павлюшин В.А. Биологизация защиты растений — необходимое условие для развития растениеводства // Главный агроном. 2018. № 7. С. 6–9.
11. Черемисин А.И. Эффективность применения средств защиты при выращивании семенного картофеля // Картофелеводство: сб. Минск, 2007. С. 379–384.
12. Халаева В.И., Волчкевич И.Г., Середа Г.М., Конопацкая М.В. Эффективность фунгицидов для защиты картофеля от фитофтороза // Защита растений: сборник научных трудов. Минск, 2020. Вып. 44. С. 115–124.
13. Özer G., Bayraktar H. Characterization and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia* spp. recovered from potato plants in Bolu, Turkey // Journal of Phytopathology. 2015. № 163(1). P. 11–18.
14. Widmark A.K., Andersson B., Cassel-Lundhagen A., Sandström M., Yuen J.E. *Phytophthora infestans* in a single field in southwest Sweden early in spring: symptoms, spatial distribution and genotypic variation // Plant Pathology. 2007. Vol. 56. № 4. P. 473–579. doi: 10.1111/j.1365-3059.2007.01618.x

Об авторах:

Пакина Елена Николаевна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: e-pakina@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-6493-6121

Шкуркин Сергей Иванович — кандидат юридических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31 а; e-mail: elgen@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7123-4213

Мухина Мария Тимофеевна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31 а; e-mail: mtmasm@mail.ru
ORCID: 0009-0006-7901-6858



Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-508-519

EDN: LEIRPR

УДК 630

Научная статья / Research article

Посадка дуба черешчатого *Quercus robur* L. однолетними и двулетними саженцами с использованием гидрогеля

А.А. Баканева 

Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук,
Астраханская область, Российская Федерация
✉ solnce5508@mail.ru

Аннотация. Проведены исследования приживаемости саженцев (однолетних и двулетних) дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) на опытных участках с разными гидрологическими условиями (долгопоемный, краткочасовой, незаливной) и влияние гидрогеля на приживаемость посаженного материала. Исследования актуальны для пойменной лесной экосистемы реки Волга, так как леса этого региона испытывают огромные нагрузки природного и антропогенного происхождения и поэтому необходимы разработки по их сохранению и восстановлению. Цель исследования — изучить способ посадки дуба черешчатого (*Quercus robur*) однолетними и двулетними саженцами с использованием гидрогеля для восстановления и увеличения биоразнообразия деградированных лесных фитоценозов в почвенно-климатических условиях Волго-Ахтубинской поймы севера Астраханской области. В ходе работы использовались следующие методики: влажность почвы определялась термостатно-весовым методом (Б.А. Доспехов); экспериментальные данные обрабатывались методом дисперсионного анализа с использованием программы Microsoft Excel. По результатам исследования с учетом всех факторов лучшая приживаемость (83 %) была отмечена у однолетних саженцев дуба черешчатого при применении гидрогеля на незаливном участке.

Ключевые слова: деградация, лесной фитоценоз, восстановление лесов, приживаемость, гидрологические условия, Волго-Ахтубинская пойма

© Баканева А.А., 2023



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

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

История статьи: поступила в редакцию 9 февраля 2023 г., принята к публикации 21 июля 2023 г.

Для цитирования: *Баканева А.А.* Посадка дуба черешчатого *Quercus robur* L. однолетними и двухлетними саженцами с использованием гидрогеля // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 508—519. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-508-519

The effect of hydrogel on one- and two-year-old saplings of English oak *Quercus robur* L.

Anna A. Bakaneva 

Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Astrakhan region, Russian Federation
✉ solnce5508@mail.ru

Abstract. Survival rate of English oak (*Quercus robur* L.) saplings (one- and two-year-old) on experimental plots under different hydrological conditions (long-interval flooding, short-interval flooding, no flooding) and the effect of hydrogel on the survival of the planted stock were studied. At present, these studies are relevant for the floodplain forest ecosystem of the Volga River, since the forests of this region are experiencing huge natural and anthropogenic loads, therefore, developments are needed for their conservation and restoration. The purpose of the research was to study the method of planting English oak (*Quercus robur*) with annual and biennial saplings using hydrogel to restore and increase the biodiversity of degraded forest phytocenoses in conditions of the Volga-Akhtuba floodplain in the north of the Astrakhan region. In the work, the following methods were used: soil moisture was determined by the thermostatic-weight method (B.A. Dospikhov); experimental data were processed by the method of dispersion analysis using Microsoft Excel. According to the results of the study, the best survival rate (83 %) was observed in one-year-old saplings of English oak in the variant with using hydrogel in no-flooding site.

Key words: degradation, forest phytocenosis, forest restoration, survival rate, hydrological conditions, Volga-Akhtuba floodplain

Conflicts of interest. The author declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 9 February 2023. Accepted: 21 July 2023.

For citation: Bakaneva AA. The effect of hydrogel on one- and two-year-old saplings of English oak *Quercus robur* L. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(3):508—519. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-508-519

Введение

Посадка является основным способом восстановления лесов, и результативность напрямую зависит от качества посадочного материала [1].

Для восстановления деградированных лесных фитоценозов [2] в Волго-Ахтубинской пойме Астраханской области был выбран дуб черешчатый (летний, обыкновенный, английский) (*Quercus robur*) [3], поскольку дуб черешчатый от-

носится к долговечным и хозяйственно-ценным породам [4, 5] и может дожить до 2000 лет [6]. В почвенно-климатических засушливых условиях региона часто не все саженцы приживаются полноценно [7–9]. Поэтому для улучшения качества создаваемых культур [10], повышения устойчивости растений, формирования корневой системы на участках пойменных лесных экосистем были проведены исследования по применению водоудерживающего полимера [11], в частности гидрогеля (полиакрилата калия) [12]. Гидрогель — полимер, который может поглотить и сохранить в себе определенный объем жидкости, а также питательные растворы, например, 1 г геля впитывает около 0,2...0,3 л воды [13]. Внесение гидрогеля в почву существенно изменяет динамику поступления, сохранения и использования влаги, в т. ч. летних осадков [14].

Цель исследования — изучить способ посадки дуба черешчатого (*Quercus robur*) однолетними и двулетними саженцами с использованием гидрогеля для восстановления и увеличения биоразнообразия деградированных лесных фитоценозов в почвенно-климатических условиях Волго-Ахтубинской поймы севера Астраханской области.

Материалы и методы исследования

В апреле 2021 г. сотрудники Прикаспийского аграрного федерального научного центра Российской академии наук (ФГБНУ «ПАФНЦ РАН») произвели посадку 180 однолетних саженцев дуба черешчатого на опытных участках общей площадью 1 га, расположенных в глубокой пойме реки Волга Черноярского района, вдали от выпаса животных и мест «дикого» туризма [15]. А в апреле 2022 г. были высажены еще 180 двулетних саженцев дуба черешчатого на тех же опытных участках. Посадочный материал был выращен в питомнике ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» из желудей, собранных в природных пойменных дубравах с. Ушаковка и Вязовка (северная часть Черноярского района). Саженцы для высадки выбирали здоровые, т. е. не подверженные заболеваниям, с хорошей корневой системой. Для более эффективного использования посевного материала и высокого процента приживаемости выбрали участки с различной длительностью затопления в период весеннего половодья: краткопоемные, долгопоемные, незаливные.

В целях повышения приживаемости посадочного материала были проведены исследования по применению гидрогеля, который способен предохранять корневую систему от пересыхания. Гидрогель вносили в почву в гидратированном (насыщенном водой) виде при посадке саженцев, в каждую лунку — по 1 л гидратированного геля.

Заложили трехфакторный опыт (табл. 1). Фактор А — гидрологические условия: долгопоемный, краткопоемный, незаливной участок. Фактор В — возраст саженцев: однолетние, двулетние. Фактор С — с применением гидрогеля и без него. Контроль — однолетние и двулетние саженцы без гидрогеля. Повторность опыта трехкратная. Экспериментальные данные обрабатывались методом дисперсионного анализа Б.А. Доспехова¹ (2014) с использованием программы Microsoft Excel.

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.

Схема опыта посадки дуба черешчатого саженцами с использованием гидрогеля в почвенно-климатических условиях Волго-Ахтубинской поймы, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022 г.

Посадочный материал	Дата посадки	Длительность затопления участков					
		Незаливной		Краткопоемный		Долгопоемный	
		с гидрогелем	без гидрогеля	с гидрогелем	без гидрогеля	с гидрогелем	без гидрогеля
Однолетние саженцы, шт.*	12–19.04. 2021 г.	25	16	16	22	16	16
Двухлетние саженцы, шт.	16.04. 2022 г.	30	30	30	30	30	30

Примечание. *Данные второго года исследования.

Table 1

Scheme of the experiment for planting English oak seedlings using hydrogel in conditions of Volga-Akhtuba floodplain, PAFSC RAS, 2022

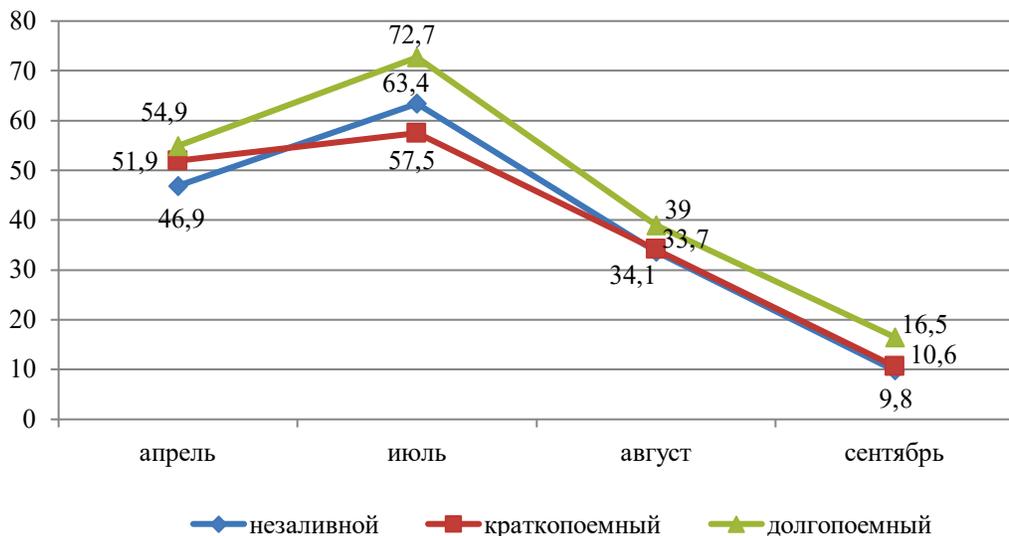
Planting stock	Planting date	Duration of flooding sites					
		No flooding		Short-interval flooding		Long-interval flooding	
		with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel
One-year-old saplings	12–19.04. 2021.	25	16	16	22	16	16
Two-year-old saplings	16.04. 2022.	30	30	30	30	30	30

Note. data from the second year of the study.

Результаты исследования и обсуждение

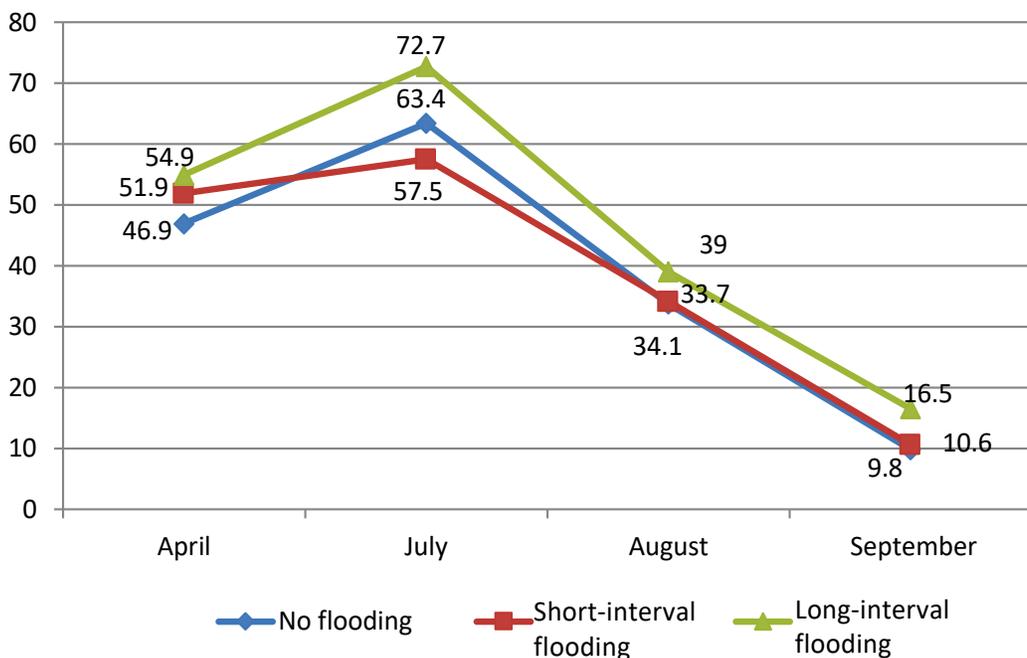
При исследовании приживаемости саженцев дуба черешчатого в течение всего вегетационного периода проводили мониторинг продуктивного запаса влаги в почве. По данным о наличии продуктивной влаги в слое почвы 0...0,5 м по месяцам 2022 г. составлен график (рис.), согласно которому продуктивный запас влаги на всех опытных участках Волго-Ахтубинской поймы Черноярского района был неудовлетворительным.

Посадка однолетними саженцами 2021 г. На каждом опытном участке по вариантам (незаливной, краткопоемный и долгопоемный) высадили по 60 саженцев, в т. ч. по 30 — с гидрогелем и по 30 — без него. На конец вегетационного периода (октябрь 2021 г.) прижилось 111 саженцев — 62 % от всего посаженного материала. В 2022 г. исследования были продолжены. В конце октября 2022 г. оценили показатели приживаемости однолетних саженцев дуба черешчатого. Из всего посаженного материала (180 шт.) на конец вегетационного периода 2022 г. прижился 61 саженец, или 34 % (табл. 2).



Средний запас продуктивной влаги, мм, в слое почвы 0...0,5 м на опытных участках по вариантам опыта в период вегетации, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022 г.

Источник: сделано автором



The average reserve of productive moisture, mm, in 0...0.5 m soil layer in the experimental plots according to the variants during the growing season, PAFSC RAS, 2022

Source: made by author

**Приживаемость однолетних саженцев дуба черешчатого
в почвенно-климатических условиях Волго-Ахтубинской поймы по годам
исследования, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022 г.**

Варианты длительности затопления участков ¹	Всего высажено в 2021 г.		Количество выживших саженцев							
			на конец октября 2021 г.				на конец октября 2022 г.			
	с гидро- гелем ²	без гидро- геля ²	с гидро- гелем		без гидро- геля		с гидро- гелем		без гидро- геля	
	шт.	шт.	шт.	Доля ³ , %	шт.	Доля ³ , %	шт.	Доля ³ , %	шт.	Доля ³ , %
Незаливной	30	30	25	83	16	53	15	50	6	20
Краткопоемный	30	30	16	53	22	73	11	37	16	53
Долгопоемный	30	30	16	53	16	53	9	30	4	13
Итого	90	90	57	63	54	60	35	39	26	29
НСР (05) общая							2,3		2,6	
НСР (05) А							1,7		1,5	
НСР (05) В							1,4		1,9	
НСР (05) АВ							1,7		1,9	

Примечание.¹Фактор А; ²фактор В; ³от посаженного материала, %.

Table 2

**The survival rate of year-old English oak saplings in conditions
of the Volga-Akhtuba floodplain, PAFSC RAS, 2022**

Duration of flooding sites ¹	Total number of saplings planted in 2021		Number of survived saplings							
			October 2021				October 2022			
	with hydrogel ²	without hydrogel ²	with hydrogel		without hydrogel		with hydrogel		without hydrogel	
	plants	plants	plants	% ³	plants	% ³	plants	% ³	plants	% ³
No flooding	30	30	25	83	16	53	15	50	6	20
Short-interval flooding	30	30	16	53	22	73	11	37	16	53
Long-interval flooding	30	30	16	53	16	53	9	30	4	13
Total	90	90	57	63	54	60	35	39	26	29
LSD (05) general							2.3		2.6	
LSD (05) A							1.7		1.5	
LSD (05) B							1.4		1.9	
LSD (05) AB							1.7		1.9	

Note. ¹Factor A, ²factor B, ³% from planted stock.

Выводы:

— по фактору А (гидрологический режим) — к концу вегетационного периода второго года жизни саженцев достоверно лучшая выживаемость отмечена в варианте краткочасового залива участка (27 шт.);

— по фактору В (гидрогель) — посадки с гидрогелем достоверно лучше, чем без гидрогеля прижились только на двух вариантах, в т. ч. на незаливном на 30 %, на длительнозаливном — на 17 %. На краткочасовом участке достоверно лучший показатель приживаемости был в варианте без гидрогеля — на 16 %.

Посадка двухлетними саженцами 2022 г. В апреле 2022 г. высадили 180 двухлетних саженцев дуба черешчатого на участках с разными вариантами продолжительности затопления (незаливной, краткочасовой, длительнозаливной), в т. ч. 90 шт. из них с применением гидрогеля и 90 — без него. На конец октября 2022 г. прижилось 38 % (69 шт.). Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результат приживаемости двухлетних саженцев дуба черешчатого в почвенно-климатических условиях Волго-Ахтубинской поймы, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022 г.

Варианты длительности затопления участков	Всего высажено в 2022 г.		Количество выживших саженцев, на конец октября 2022 г.			
	с гидрогелем	без гидрогеля	с гидрогелем		без гидрогеля	
	шт.	шт.	шт.	%	шт.	%
Незаливной	30	30	13	44	20	67
Краткочасовой	30	30	17	56	3	11
Длительнозаливной	30	30	3	11	13	44
Итого	90	90	33	37	36	40
НСР (05) общая						3,0
НСР (05) А						1,7
НСР (05) В						2,1
НСР (05) АВ						2,1

Table 3

The survival rate of two-year-old English oak saplings in conditions of the Volga-Akhtuba floodplain, PAFSC RAS, 2022

Duration of flooding sites	Total number of saplings planted in 2022		Number of survived saplings, October 2022			
	with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel		without hydrogel	
	plants	plants	plants	%	plants	%
No flooding	30	30	13	44	20	67
Short-interval flooding	30	30	17	56	3	11
Long-interval flooding	30	30	3	11	13	44
Total	90	90	33	37	36	40
LSD (05) general						3.0
LSD (05) A						1.7
LSD (05) B						2.1
LSD (05) AB						2.1

Результаты исследования показали:

— с применением гидрогеля лучшая приживаемость (56 %) была зафиксирована на короткопоемном участке;

— без применения гидрогеля достоверно лучшая приживаемость отмечена на незаливном участке — 67 %;

— по влиянию двух факторов лучшая приживаемость в первый год вегетации установлена на незаливном участке без применения гидрогеля.

Таким образом, было выявлено, что гидрогель и гидрологический режим достоверно оказывают влияние на приживаемость двухлетних саженцев в естественных условиях Волго-Ахтубинской поймы.

Сравнили полученные результаты по приживаемости однолетних и двухлетних саженцев дуба черешчатого (табл. 4).

Таблица 4

Приживаемость однолетних и двухлетних саженцев дуба черешчатого в почвенно-климатических условиях Волго-Ахтубинской поймы, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022 г.

Посадочный материал	Дата посадки	Длительность затопления участков					
		Незаливной		Краткопоемный		Долгопоемный	
		с гидрогелем	без гидрогеля	с гидрогелем	без гидрогеля	с гидрогелем	без гидрогеля
Однолетние саженцы, шт.	Весна 2021 г.	25*	16	16	22	16	16
Двухлетние саженцы, шт.	Весна 2022 г.	13	20	17	3	3	13
НСР (05) общая		2,20					
НСР (05) А		1,10					
НСР (05) В		0,90					
НСР (05) АВ		1,27					
НСР (05) АС		1,56					
НСР (05) ВС		1,56					
НСР (05) АВС		1,10					

Примечание. * данные за год вегетации

Table 4

The survival rate of one- and two-year-old saplings of English oak in conditions of the Volga-Akhtuba floodplain, PAFSC RAS, 2022

Planting stock	Planting date	Duration of flooding sites					
		No flooding		Short-interval flooding		Long-interval flooding	
		with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel
Number of one-year-old saplings	Spring 2021	25	16	16	22	16	16
Number of two-year-old saplings	Spring 2022	13	20	17	3	3	13

Ending of table 4

Planting stock	Planting date	Duration of flooding sites					
		No flooding		Short-interval flooding		Long-interval flooding	
		with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel
LSD (05) general		2.20					
LSD (05) A		1.10					
LSD (05) B		0.90					
LSD (05) AB		1.27					
LSD (05) AC		1.56					
LSD (05) BC		1.56					
LSD (05) ABC		1.10					

Note. *data for the growing season.

Сравнение посадок однолетними и двулетними саженцами выявило:

- лучшие показатели приживаемости у однолетних саженцев на незаливных участках с применением гидрогеля — 83 %;
- без применения гидрогеля лучшая приживаемость была у однолетних саженцев на краткочасовых участках — 73 %;
- у двулетних саженцев лучшая приживаемость была на незаливном участке без применения гидрогеля — 67 %;
- по всем факторам отличия по вариантам являются достоверными (выше НСР).

Также провели замеры прироста саженцев дуба черешчатого за вегетационный период 2022 г. (табл. 5).

Таблица 5

Результаты изменения высоты саженцев дуба черешчатого за вегетационный период по годам исследования, ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 2022 г.

Варианты длительности затопления участков	Средняя высота саженцев дуба черешчатого, м					
	При посадке		На конец вегетационного периода 2021 г.		На конец вегетационного периода 2022 г.	
	с гидрогелем	без гидрогеля	с гидрогелем	без гидрогеля	с гидрогелем	без гидрогеля
Незаливной	0,15	0,17	0,18	0,19	0,18	0,19
Краткочасовой	0,17	0,16	0,18	0,17	0,18	0,17
Долгочасовой	0,15	0,15	0,19	0,17	0,19	0,17
НСР (05) общая					0,06	0,06
НСР (05) А					0,05	0,05
НСР (05) В					0,04	0,04
НСР (05) АВ					0,05	0,05

Changes in English oak sapling height during the growing season, PAFSC RAS, 2022

Duration of flooding sites	The average height of English oak saplings, m					
	Planting		End of the growing season 2021		End of the growing season 2022	
	with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel	with hydrogel	without hydrogel
No flooding	0.15	0.17	0,18	0,19	0,18	0,19
Short-interval flooding	0.17	0.16	0,18	0,17	0,18	0,17
Long-interval flooding	0.15	0.15	0,19	0,17	0,19	0,17
LSD (05) general				0.06	0.06	
LSD (05) A				0.05	0.05	
LSD (05) B				0.04	0.04	
LSD (05) AB				0.05	0.05	

Независимо от места положения и использования гидрогеля прироста у саженцев не было отмечено (см. табл. 5). Это связано с тем, что у саженцев дуба черешчатого на второй год жизни рост в длину замедляется и идет наращивание корневой системы.

Заключение

Исследованиями установлено, что на приживаемость двухлетних саженцев в естественных условиях Волго-Ахтубинской поймы большое влияние оказывает как гидрогель, так и гидрологический режим реки Волга. А на прирост в первый и второй год жизни данные условия не влияли. Сравнение посадок дуба черешчатого однолетними и двухлетними саженцами, с учетом всех изученных за период исследования факторов, привело к выводу: лучшая приживаемость была у однолетних саженцев при использовании гидрогеля на незаливном участке. Опыт многолетний, будет продолжен.

Список литературы

1. *Пентелькина Н.В.* Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 31. Брянск: БГИТА, 2012. С. 189–193.
2. *Краснов В.Г.* Санитарное состояние искусственных насаждений дуба черешчатого в Среднем Поволжье // Лесной журнал. 2007. № 6. С. 42–48.
3. *Романов Е.М., Смьшляева М.И., Краснов В.Г., Мухортов Д.И.* Выращивание однолетних сеянцев дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) с закрытой корневой системой на различных питательных субстратах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2017. № 3 (35). С. 26–36. doi: 10.15350/2306-2827.2017.3.26
4. *Михин В.И., Михина Е.А.* Формирование защитных насаждений из дуба черешчатого в центральном Черноземье России // Лесотехнический журнал. 2018. № 4. С. 109–117. doi: 10.12737/article_5c1a321965cf38.69751554
5. *Зволинский В.П., Заплавнов Д.М., Кищенко А.А.* Влияние экологических факторов на состояние лесных насаждений Волго–Ахтубинской поймы Астраханской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3. С. 14–19.

6. Барайщук Г.В., Казакова А.С., Шевченко Н.Ю., Гайвас А.А. Выращивание дуба черешчатого (*Quercus robur*) в условиях южной лесостепи Омской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 3 (114). С. 13–19.
7. Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Дроздов И.И., Васильев С.Б. Влияние низкочастотного электромагнитного поля, удобрений и гидрогеля на приживаемость и рост лесных культур на рекультивируемых песчаных отвалах // Лесной вестник. 2015. № 6. С. 50–56.
8. Вдовенко А.В., Власенко М.В., Турко С.Ю. Фитомелиоративное состояние кормовых угодий в Астраханской области // Известия НВ АУК. 2013. № 3(31). С. 1–5. doi: 10.18470/1992-1098-2020-2-78-90
9. Баубекова Д.Г. Влияние биологического средства защиты растений на микоценоз почв при выращивании листового салата в условиях аридного климата астраханской области // Экобиотех. 2021. Т. 4. № 3. С. 221–226. doi: 10.31163/2618-964X-2021-4-3-221-226
10. Данилова Т.Н. Водопоглощающие полимеры для управления водообеспеченностью сельскохозяйственных культур // Известия СПбГАУ. 2018. № 3 (52). С. 47–53.
11. Белова Т.А., Протасова М.В., Нагорная О.В. Морфофизиологические особенности растений при выращивании на полимерных посадочных субстратах // АгроЭкоИнфо. 2020. № 4(42). Режим доступа: https://www.agroecoinfo.ru/STATGYI/2020/4/st_420.pdf
12. Смирнов А.И., Никитин В.Ф., Генералова А.А., Аксенов П.А. Приживаемость и морфологические особенности саженцев ели европейской (*Picea abies* L.), обработанных низкочастотным электромагнитным полем и посаженных с внесением гидрогеля // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25. № 5. С. 22–29. doi: 10.18698/2542-1468-2021-5-22-29
13. Наумов П.В., Щербаклова Л.Ф., Околенова А.А. Оптимизация влагообеспеченности почв с помощью полимерных гидрогелей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 4 (24). С. 77–81.
14. Дудаков Н.К., Янов В.И. Суммарное водопотребление эстрагона кормового в условиях Северо-Западного Прикаспия // Природообустройство. 2013. № 1. С. 26–28.
15. Баканева А.А. Исследования всхожести желудей и роста однолетних сеянцев дуба черешчатого в почвенно-климатических условиях Волго-Ахтубинской поймы Астраханской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 3. С. 350–359. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-350-359

References

1. Pentelkina NV. Problems of growing seedlings in the forest nurseries and ways of solution. In: Current problems of the forestry complex: conference proceedings. Bryansk; 2012. p.189–193. (In Russ.).
2. Krasnov VG. Sanitary state of artificial stands of English oak in Middle Povolzhje. *Bulletin of higher educational institutions. Forestry journal*. 2007;(6):42–48. (In Russ.).
3. Romanov EM, Smyshlyaeva MI, Krasnov VG, Mukhortov DI. Growing of one-year containerized seedlings of English oak (*Quercus robur* L.) with the use of various nutritious substrates. Vesting of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. *Nature management*. 2017;(3):26–36. (In Russ.). doi: 10.15350/2306-2827.2017.3.26
4. Mikhin VI, Mikhina EA. Formation of English oak protective plants in the Central Chernozem region of Russia. *Forestry engineering journal*. 2018;(4)8:109–117. (In Russ.). doi: 10.12737/article_5c1a321965cf38.69751554
5. Zvolinsky VP, Zaplavinov DM, Kishchenko AA. The influence of environmental factors on the state of forest plantations of the Volga-Akhtuba floodplain of the Astrakhan region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2013;(3):14–19. (In Russ.).
6. Barayshchuk GV, Kazakova AS, Shevchenko NY, Gayvas AA. English oak (*Quercus robur*) cultivation in Omsk region in south forest-steppe conditions. *Bulletin of KSAU*. 2016;(3):13–19. (In Russ.).
7. Smirnov AI, Orlov FS, Drozdov II, Vasilev SB. The influence of low frequency electromagnetic fields, fertilizers and hydrogel on the establishment and growth of forest cultures on recultivated sand dumps. *Forestry bulletin*. 2015;(6)9:50–56. (In Russ.).
8. Vdovenko AV, Vlasenko MV, Turko SY. Phytomeliorative state of forage lands in the Astrakhan region. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2013;(3):86–91. (In Russ.). doi: 10.18470/1992-1098-2020-2-78-90

9. Baubekova DG. Influence of biological means of plant protection on the microbiocenosis of agricultural soils in arid climate conditions. *Ecobiotech*. 2021;4(3):221–226. (In Russ.). doi: 10.31163/2618-964X-2021-4-3-221-226
10. Danilova TN. Water-absorbing polymers for managing water supply of agricultural crops. *Izvesniya Saint-Petersburg state agrarian university*. 2018; (52):47–53. (In Russ.).
11. Belova TA, Protasova MV, Nagornaya OV. Morpho-physiological characteristics of plants grown on polymer substrates boarding. *Agroecoinfo*. 2020;(4):1–24. (In Russ.).
12. Smirnov AI, Nikitin VF, Generalova AA, Aksenov PA. European spruce (*Picea abies* L.) survival ability and morphological traits of seedlings treated with low-frequency electromagnetic field and planted with hydrogel application. *Lesnoy vestnik. Forestry bulletin*. 2021;25(5):22–29. (In Russ.). doi: 10.18698/2542-1468-2021-5-22-29
13. Naumov PV, Shcherbakova LF, Okolelova AA. Optimization of soil moisture supply using polymer hydrogels. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2011;(4):77–81. (In Russ.).
14. Dudakov NK, Yanov VI. Total water consumption by forage estragon under conditions of the North–Western Pricaspian area. *Prirodoobustroystvo*. 2013;(1):26–28. (In Russ.)
15. Bakaneva AA. Germination of acorns and growth of one-year common oak seedlings in conditions of the Volga-Akhtuba floodplain, Astrakhan region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(3): 350–359. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-350-359

Об авторе:

Баканева Анна Александровна – младший научный сотрудник, отдел рационального природопользования, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Соленое Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: solnce5508@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2619-8794, SPIN: 7306–1060

About author:

Bakaneva Anna Aleksandrovna — Junior Researcher, Department of Environmental Management, Pricaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8 Severny quarter, Solenoye Zaymishche vil., Chernoyarsky district, Astrakhan Region, 416251, Russian Federation, e-mail: solnce5508@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2619-8794, SPIN: 7306–1060



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-520-530

EDN: LJLAEU

УДК 57.045: 577.13: 631.8

Научная статья / Research article

Влияние низкой положительной температуры на формирование антиоксидантной системы световых и этиолированных проростков *Amaranthus tricolor* L., выращенных из семян, обработанных регуляторами роста

Е.М. Гинс 

Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха, Московская обл.,
Российская Федерация
✉ katya.888888@yandex.ru

Аннотация. В Нечерноземной зоне России возвратные весенние холода до 1–2 °С могут вызвать повреждения и гибель проростков теплолюбивого растения — амаранта. Недорогим и эффективным методом для снижения негативного действия гипотермии на прорастание семян является предпосевная обработка семян регуляторами роста. Цель исследования — изучение влияния низкотемпературного стресса на этиолированные и световые проростки амаранта сорта Валентина (*A. tricolor* L.), выращенные из семян, обработанных регуляторами роста. Для предпосевной обработки семян использовали водные растворы Альбита — 1 г/л, перекиси водорода (H_2O_2) — 5 мМ и янтарной кислоты (ЯК) — 500 мг/л. Семена проращивали в торфяных горшках при температуре 23 ± 2 °С (T_{23}) в течение 7 суток. На 7-й день торфяные горшки с проростками, выращенными на свету и в темноте, перемещали в термостат при температуре $2,0 \pm 0,5$ °С (T_2) на 8 часов. Определение количества амарантина, хлорофиллов и каротиноидов проводили по общепринятым методикам. Предпосевная обработка семян регуляторами роста Альбит, H_2O_2 и ЯК увеличивала длину гипокотилиа, длину корня и биомассу световых и этиолированных проростков. Действие низких положительных температур повышало содержание амарантина и каротиноидов, однако, снижало содержание хлорофиллов. Показано, что все использованные регуляторы роста: H_2O_2 , Альбит и ЯК — запускают либо поддерживают систему антиоксидантной защиты световых и этиолированных проростков амаранта сорта Валентина при действии низких положительных температур.

Ключевые слова: сорт Валентина, амарантин, фотосинтетические пигменты, абиотический стресс, низкотемпературный стресс, хлорофилл

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

История статьи: поступила в редакцию 7 апреля 2023 г., принята к публикации 10 июля 2023 г.

© Гинс Е.М., 2023



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

Для цитирования: Гинс Е.М. Влияние низкой положительной температуры на формирование антиоксидантной системы световых и этиолированных проростков *Amaranthus tricolor* L., выращенных из семян, обработанных регуляторами роста // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 520—530. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-520-530

Effect of low positive temperature on the antioxidant system formation in de-etiolated and etiolated *Amaranthus tricolor* L. seedlings grown from seeds treated with growth regulators

Ekaterina M. Gins 

Russian Potato Research Center, Moscow region, Russian Federation

✉ katya.888888@yandex.ru

Abstract. In the Non-chernozem zone of Russia, the recurrent spring cold up to 1–2 °C can cause damage and death of thermophilic amaranth seedlings. Pre-sowing treatment of seeds with growth regulators is an inexpensive and effective method to reduce the negative effect of hypothermia on seed germination. The aim of the research was to study the effect of low-temperature stress on etiolated and de-etiolated seedlings of amaranth cv. ‘Valentina’ (*A. tricolor* L.) grown from seeds treated with growth stimulants. Seeds were pretreated with aqueous solutions of Albit (1 g/L), hydrogen peroxide (H₂O₂) — 5 mM and succinic acid (ScA) — 500 mg/L. Seeds were germinated in peat pots at 23 ± 2 °C (T₂₃) for 7 days. On the 7th day, peat pots with seedlings grown in the light and in the dark were moved to thermostat at 2.0 ± 0.5 °C (T₂) for 8 hours. Determination of the amount of amaranthine, chlorophylls and carotenoids were carried out according to generally accepted methods. Pretreatment of seeds with the growth regulators Albit, H₂O₂, and ScA increased hypocotyl length, root length, and biomass of light and etiolated seedlings. Low positive temperatures increased the content of amaranthine and carotenoids but reduced the content of chlorophylls. It was shown that all used growth regulators — H₂O₂, Albit and ScA trigger or at least maintain the system of antioxidant protection in light and etiolated seedlings of amaranth cv. ‘Valentina’ under low positive temperatures.

Keywords: Valentina, cultivar, amaranthine, photosynthetic pigments, abiotic stress, low-temperature stress, chlorophyll

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 7 April 2023. Accepted: 10 July 2023.

For citation: Gins EM. Effect of low positive temperature on the antioxidant system formation in de-etiolated and etiolated *Amaranthus tricolor* L. seedlings grown from seeds treated with growth regulators. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(3):520—530. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-520-530

Введение

Низкие температуры относятся к основным абиотическим стрессам, которые значительно снижают урожайность и влияют практически на все функции растений, такие как фотосинтез, поглощение воды и питательных веществ, транспирацию и дыхание [1, 2].

Амарант (*Amaranthus tricolor* L.) — листовое овощное растение, содержащее биологически активные соединения с антиоксидантной активностью, включая

аскорбиновую кислоту, амарантин, β -каротин, фенолы и флавоноиды [3]. В Нечерноземной зоне России возвратные весенние холода до 1–2 °С могут вызывать повреждения и гибель проростков теплолюбивого растения амаранта. Известно, что низкотемпературный стресс индуцирует накопление активных форм кислорода (АФК), таких как супероксидный радикал, перекись водорода, синглетный кислород и гидроксильные радикалы [4, 5]. Повреждения, вызванные АФК, и нарушение клеточного гомеостаза облегчаются действием различных антиоксидантов: ферментативных (каталазы, супероксиддисмутазы, пероксидазы, глутатионредуктазы, глутатионпероксидазы) и неферментативных (аскорбиновая кислота, каротиноиды, альфа-токоферолы и глутатион) [4, 5]. Механизм образования АФК и их нейтрализация за счет низкомолекулярной антиоксидантной системы были связаны с устойчивостью растений к абиотическим стрессам [6].

Большое внимание уделяется разработке подходов к снижению негативного действия абиотических стрессов на прорастание семян. Недорогим и эффективным методом является предпосевная обработка семян регуляторами роста [7]. Предпосевная обработка семян — это индукция определенного физиологического состояния, в котором растения способны быстрее и лучше активировать защитные реакции, чтобы справиться с абиотическим стрессом [7, 8].

Реакция растений на абиотические стрессы, в т.ч. на низкие положительные температуры, является предметом различных исследований уже несколько десятилетий. Изучение реакции растений на стрессовые факторы необходимо для понимания адаптации растений при выращивании в условиях открытого грунта [9]. На данный момент в литературе нет достаточных данных о том, как реагирует антиоксидантная система у проростков амаранта на низкие положительные температуры и какое значение имеет предпосевная обработка для практического использования.

Цель исследования — изучение влияния низкотемпературного стресса на световые и этиолированные проростки амаранта сорта Валентина (*A. tricolor* L.), выращенные из семян, обработанных регуляторами роста.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования выбрали семена и проростки амаранта овощного типа *Amaranthus tricolor* L., сорта Валентина селекции ФГБНУ ФНЦО (Московская область).

Предпосевная обработка семян. Тщательно отбирались однородные и полные семена. Всего проводили 4 обработки семян: Альбит (1 г/л), перекись водорода (50 мМ/л), янтарная кислота (500 мг/л). В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Семена замачивали в соответствующем водном растворе в течение 4 часов, затем их промывали дистиллированной водой, подсушивали и высевали в торфяные горшки. Часть горшков накрывали материалом, не пропускающим свет, и помещали в темную комнату. Эксперимент проводили в трех повторностях. Растения выращивали при температуре 23 ± 2 °С (Т23). На 7-й день торфяные горшки с проростками, выращенными на свету и в темноте, перемещали в термостат при температуре $2,0 \pm 0,5$ °С (Т2) на 8 часов (на ночь).

Биохимические показатели. Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом. Суммарное содержание хлорофиллов и каротиноидов рассчитывали по формулам [10]

$$\begin{aligned} \text{Хл а} \left[\frac{\text{МГ}}{\text{Г}} \right] &= \frac{(13,36A_{664,2} - 5,19A_{648,6})V}{1000m}; \\ \text{Хл б} \left[\frac{\text{МГ}}{\text{Г}} \right] &= \frac{(27,43A_{648,6} - 8,12A_{664,2})V}{1000m}; \\ \text{Кар}^{\Sigma} \left[\frac{\text{МГ}}{\text{Г}} \right] &= \frac{(4,785A_{470} + 3,657A_{664,2} - 12,76A_{648,6})V}{1000m}, \end{aligned}$$

где A_{470} , $A_{648,6}$ и $A_{664,2}$ — поглощение на 470, 648,6 и 664,2 нм соответственно; V — объем экстрагента (этанола 96 %), мл; m — масса навески образца, г.

Количество амарантина в водных экстрактах определяли с учетом молярного коэффициента экстинкции $5,66 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и молярного веса $726,6 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ [11].

Анализ данных. Данные представлены как среднее из трех повторностей \pm SD (стандартное отклонение) при уровне значимости $P \leq 0,05$. Анализ данных выполняли в среде R [12].

Фотографии семядольных листьев и гипокотыля были сделаны с использованием инвертированного стереомикроскопа Stemi 508 с камерой AxioCam 305 color (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Germany) при $5\times$ увеличении.

Результаты исследования и обсуждение

Влияние предпосевной обработки на морфометрические показатели проростков. Исследование выявило, что предпосевная обработка семян амаранта регуляторами роста растений улучшала морфометрические показатели проростков амаранта, выращенных в условиях света и темноты (табл. 1).

Таблица 1

Морфометрические показатели проростков амаранта сорта Валентина, выращенных из семян, обработанных регуляторами роста в условиях света и темноты

Обработка семян	В условиях света			В условиях темноты		
	Длина гипокотыля, см	Длина корня, см	Масса 10 проростков, г	Длина гипокотыля, см	Длина корня, см	Масса 10 проростков, г
H ₂ O (контроль)	2,53 \pm 0,18	2,28 \pm 0,32	0,0780 \pm 0,0022	6,12 \pm 0,21	2,10 \pm 0,43	0,1003 \pm 0,0070
Альбит	3,28 \pm 0,21	3,53 \pm 0,35	0,0890 \pm 0,0027	7,10 \pm 0,14	2,62 \pm 0,38	0,1120 \pm 0,0075
Янтарная кислота	2,78 \pm 0,084	4,01 \pm 0,27	0,0787 \pm 0,0020	6,20 \pm 0,15	3,28 \pm 0,40	0,1033 \pm 0,0043
H ₂ O ₂	2,87 \pm 0,094	3,42 \pm 0,25	0,0790 \pm 0,0013	5,82 \pm 0,10	2,99 \pm 0,38	0,1005 \pm 0,0038

Обработка семян регуляторами роста: Альбит, H_2O_2 и янтарная кислота (ЯК) — увеличивала длину гипокотыля у проростков, выращенных на свету, на 28,64, 13,44 и 9,88 %, длину корня — на 54,82, 50 и 75,88 %, а биомассу проростков — на 14,10, 1,28 и 0,9 % соответственно.

В условиях темноты обработка семян препаратами Альбит и ЯК также эффективно воздействовала на морфометрические показатели и увеличивала длину гипокотыля на 16,01 и 1,31 % по сравнению с контролем, длину корня — на 24,78 и 56,19 %, а массу проростков — на 11,67 и 2,99 % соответственно. В то же время обработка H_2O_2 снижала длину гипокотыля на 4,9 % по сравнению с контролем.

Примечательно, что в условиях темноты длина гипокотыля в контрольных образцах проростков амаранта была на 141,9 % больше, чем в контрольных образцах, выращенных в условиях света.

В нашем исследовании у этилированных проростков амаранта сорта Валентина образовывались длинный гипокотиль и желто-розовые семядольные листья, которые при визуальной оценке не раскрывались и были меньше, чем листья проростков, выращенных на свету (рис. 1, 2).

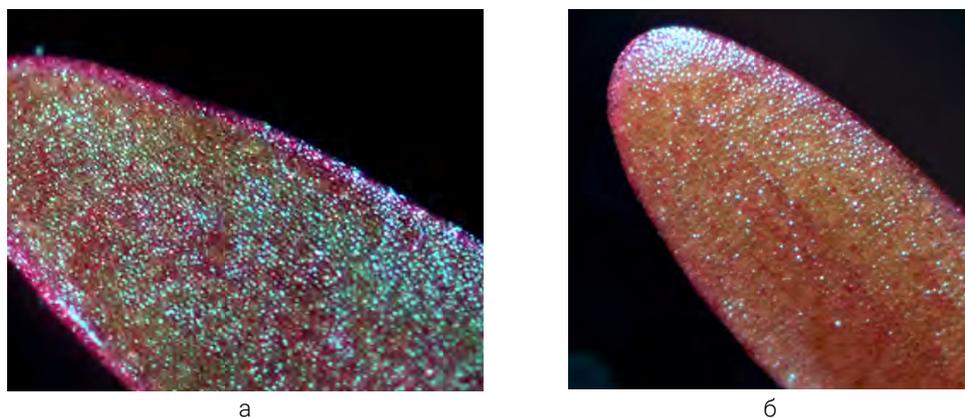


Рис. 1. Семядольный лист 7-суточного проростка амаранта сорта Валентина, выращенного в условиях света (а) и в темноте (б)

Источник: выполнено автором

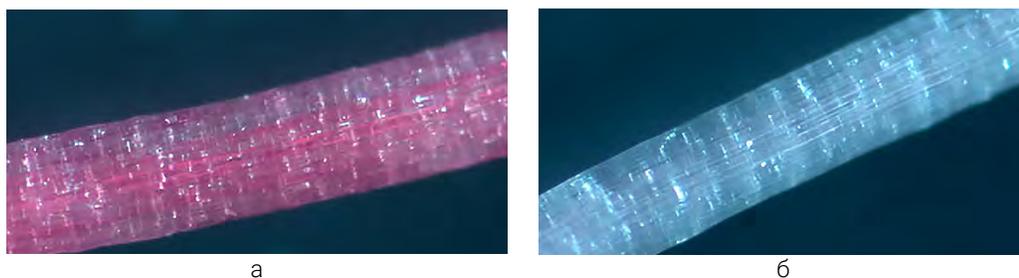


Рис. 2. Гипокотиль 7-суточного проростка амаранта сорта Валентина, выращенного в условиях света (а) и в темноте (б)

Источник: выполнено автором

Влияние низкой положительной температуры на содержание амарантина и фотосинтетических пигментов в световых и этиолированных проростках. Выявлено повышение содержания амарантина при действии низкой положительной температуры во всех проростках, выращенных в условиях света и темноты. При этом наблюдали разный уровень накопления амарантина при действии гипотермии в зависимости от вида регулятора роста (табл. 2).

Таблица 2

Содержание амарантина, мг/г сырой массы, в световых и этиолированных проростках амаранта сорта Валентина, обработанных регуляторами роста при действии низкой положительной температуры 2 °С

Обработка семян	В условиях света		В условиях темноты	
	T_{23}	T_2	T_{23}	T_2
H ₂ O (контроль)	0,385 ± 0,014	0,395 ± 0,010	0,066 ± 0,003	0,118 ± 0,005
Альбит	0,340 ± 0,008	0,519 ± 0,008	0,058 ± 0,003	0,130 ± 0,005
Янтарная кислота	0,380 ± 0,012	0,406 ± 0,09	0,093 ± 0,002	0,136 ± 0,006
H ₂ O ₂	0,400 ± 0,011	0,480 ± 0,008	0,079 ± 0,004	0,140 ± 0,006

В световых проростках действие гипотермии повышало содержание амарантина в контроле, а также в проростках, выращенных из семян, обработанных ЯК, H₂O₂ и Альбитом на 2,6; 6,84; 20 и 52,65 %, а в этиолированных проростках — на 78,79; 46,24; 77,22 и 124,14 % соответственно. При этом в контрольных вариантах у этиолированных проростков содержание амарантина было ниже на 82,86 %, чем в световых проростках.

Известно, что именно бетацианины являются фотозащитными соединениями, тесно связанными с холодовым стрессом [13]. Повышение биосинтеза амарантина в условиях гипотермии позволяет предположить, что данный пигмент играет важную роль в устойчивости проростков к холодовому стрессу.

В этиолированных проростках обнаружено следовое содержание суммы хлорофиллов а + б, поэтому представлено только суммарное содержание хлорофиллов в световых проростках. Действие низкотемпературного стресса снизило суммарное содержание хлорофиллов а и б в световых проростках, в контроле и при обработке ЯК — на 9,84 и 3,13 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Суммарное содержание хлорофиллов а+б в световых проростках амаранта сорта Валентина, обработанных регуляторами роста при действии низкой положительной температуры 2 °С

Обработка семян	Хлорофиллы а+б, мг/г сырой массы	
	T_{23}	T_2
H ₂ O (контроль)	0,315±0,007	0,284 ± 0,005
Альбит	0,267 ± 0,005	0,325 ± 0,006
Янтарная кислота	0,320 ± 0,012	0,310 ± 0,0010
H ₂ O ₂	0,321 ± 0,011	0,337 ± 0,009

Возможно, снижение содержания хлорофиллов в условиях низкотемпературного стресса частично связано с нарушением биосинтеза протохлорофиллидов или с ингибированием биосинтеза 5-аминолевулиновой кислоты [14]. Известно, что низкотемпературный стресс вызывает окисление липидов в мембране, что приводит к образованию АФК, в основном в пластидах. Впоследствии АФК окисляют фотосинтетический пигмент, снижая содержание хлорофилла [15].

Однако в проростках, семена которых были обработаны H_2O_2 и Альбитом, обнаружили повышение суммарного содержания хлорофиллов на 4,98 и 21,71 % соответственно (см. табл. 3). По-видимому, степень устойчивости хлорофиллов в проростках к действию гипотермии может определяться концентрацией и видом регулятора роста. Так низкая концентрация экзогенной H_2O_2 регулирует физиологические процессы, включая фотосинтез, повышая устойчивость фотосинтетических пигментов, в т.ч. каротиноидов [16].

В хлоропластах каротиноиды выполняют функцию вспомогательных свето-собирающих пигментов, направляющих избыточную энергию от хлорофиллов на защиту от фотоокислительных повреждений [17].

В наших опытах на световых проростках были получены неоднозначные данные. В условиях гипотермии содержание каротиноидов снизилось в световых проростках, семена которых были обработаны ЯК, на 11,11 %, а в контроле — на 13,76 %, в то время как у семян, обработанных H_2O_2 и Альбитом, в проростках повысилось количество пигмента на 5,41 и 19,33 % соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Суммарное содержание каротиноидов, мг/г сырой массы, в световых и этиолированных проростках амаранта сорта Валентина, обработанных регуляторами роста при действии низкой положительной температуры 2 °С

Обработка семян	В условиях света		В условиях темноты	
	T_{23}	T_2	T_{23}	T_2
H_2O (контроль)	0,138 ± 0,004	0,119 ± 0,003	0,024 ± 0,002	0,041 ± 0,001
Альбит	0,119 ± 0,002	0,142 ± 0,005	0,022 ± 0,001	0,049 ± 0,002
Янтарная кислота	0,135 ± 0,007	0,120 ± 0,004	0,029 ± 0,003	0,043 ± 0,005
H_2O_2	0,148 ± 0,003	0,156 ± 0,004	0,031 ± 0,004	0,043 ± 0,001

При этом в этиолированных проростках при действии низких положительных температур содержание каротиноидов увеличивалось при всех обработках семян: в контроле на 70,83 %, при обработках Альбитом на 122,73 %, ЯК — на 48,28 %, H_2O_2 — на 38,71 %. Отмечено, что в этиолированных проростках накапливается значительно меньшее количество каротиноидов по сравнению со световыми проростками как при оптимальной, так и низкой температуре. Возможно, это связано с тем, что биосинтез каротиноидов в этиолированных проростках ограничивается наличием метаболических предшественников [18].

При действии света в условиях оптимальной температуры нами выявлена сильная активация биосинтеза каротиноидов во всех видах обработки. По-видимому, этиопластные каротиноиды способствуют адаптации этиолированных проростков к свету. При этом регулирование образования каротиноидов в темноте может позволить этиолированным сеянцам оптимизировать переход к фотосинтезу после освещения. Следовательно, процесс деэтиоляции проростков амаранта, индуцируемый светом, включает образование высоких уровней каротиноидов, хлорофиллов и амарантина для поддержания фотосинтетических и защитных реакций.

В условиях гипотермии увеличение содержания суммы хлорофиллов, а также каротиноидов в проростках амаранта, выращенных из семян при обработке H_2O_2 и Альбитом, свидетельствует о повышении устойчивости фотосинтетических пигментов и, следовательно, фотосинтетического аппарата.

Влияние низкой положительной температуры на содержание антиоксиданта амарантина и фотосинтетических пигментов в семядольных листьях световых проростков, выращенных из семян, обработанных регуляторами роста. При изучении накопления амарантина в семядольных листьях световых проростков в ответ на действие низкотемпературного стресса было выявлено, что содержание амарантина увеличивалось, но его количество зависело от варианта обработки. Так, в контроле и при обработке семян H_2O_2 , ЯК и Альбитом содержание амарантина под действием гипотермии увеличивалось на 12,46; 35; 41,29 и 44,41 % соответственно (табл. 5).

Таблица 5

Содержание амарантина и фотосинтетических пигментов: хлорофиллов и каротиноидов – в семядольных листьях световых проростков, обработанных регуляторами роста при действии низкой положительной температуры 2 °С

Обработка семян	Амарантин, мг/г сырой массы		Хлорофиллы, мг/г сырой массы		Каротиноиды, мг/г сырой массы	
	T_{23}	T_2	T_{23}	T_2	T_{23}	T_2
H_2O (Контроль)	0,610 ± 0,010	0,686 ± 0,009	0,667 ± 0,009	0,657 ± 0,012	0,266 ± 0,009	0,276 ± 0,007
Альбит	0,599 ± 0,009	0,865 ± 0,014	0,708 ± 0,012	0,750 ± 0,014	0,290 ± 0,010	0,314 ± 0,006
Янтарная кислота	0,603 ± 0,012	0,852 ± 0,009	0,693 ± 0,010	0,760 ± 0,010	0,278 ± 0,005	0,321 ± 0,007
H_2O_2	0,618 ± 0,014	0,838 ± 0,010	0,693 ± 0,009	0,777 ± 0,007	0,283 ± 0,008	0,335 ± 0,009

Амарантин — пигмент, необходимый для гомеостаза в условиях абиотического стресса. Значительное накопление бетацианина аккумулируется в верхнем и нижнем эпидермисе, в палисадных и губчатых клетках мезофилла, а также и замыкающих клетках устьиц [19].

Содержание хлорофиллов в условиях низкой положительной температуры снизилось только в семядольных листьях контрольных проростков на 1,5 %, а обработка семян Альбитом, ЯК и H_2O_2 повысила содержание хлорофиллов в проростках на 5,93; 9,67 и 12,12 %.

Wittayathanarattana Т. и др. пришли к выводу, что действие кратковременного положительного низкотемпературного стресса на корневую систему амаранта ограничивает фотосинтез, что приводит к истощению ресурсов растений в тканях и заставляет их сохранять критически важные питательные вещества для выживания. Хлорофилл может быть менее необходим в условиях ограниченных ресурсов и избытка АФК по сравнению с амарантином и каротиноидами [15].

Каротиноиды представляют собой пигменты, накапливающиеся в хлоропластах и имеющие решающее значение для фотозащиты, улавливания света и стабилизации фотосинтетической активности [20], и обладают высокой антиоксидантной способностью, удаляя синглетный кислород и пероксильные радикалы [21].

При действии гипотермии наблюдали повышение уровня каротиноидов во всех вариантах обработки: в контроле на 3,76, при обработке семян Альбитом на 8,27, ЯК на 15,47 и H_2O_2 на 18,37 %.

В условиях низкой положительной температуры в семядольных листьях существенно увеличивается количество антиоксиданта — амарантина и каротиноидов в проростках всех образцов, обработанных Альбитом, H_2O_2 и ЯК. Следовательно, все использованные регуляторы роста запускают или, по крайней мере, поддерживают систему антиоксидантной защиты в световых и этилированных проростках амаранта сорта Валентина при действии низких положительных температур.

Заключение

Предпосевная обработка семян амаранта регуляторами роста не только повышает качество семян, но и изменяет — повышает или снижает антиоксидантную способность проростков, а также ростовые процессы по сравнению с контролем. Низкая положительная температура индуцирует синтез амарантина в световых и этилированных проростках при всех видах обработки семян регуляторами роста, тогда как синтез каротиноидов повышается в световых проростках только при обработке семян H_2O_2 и Альбитом, а в этилированных проростках — при обработке Альбитом, ЯК и H_2O_2 .

По литературным данным и полученным нами результатам исследования можно предположить, что в условиях гипотермии индуцируется избыток молекул АФК в клетке, которые проявляют как свойства токсичных продуктов метаболизма, так и сигнальных молекул, вовлекаясь в процессы, приводящие к повышению устойчивости проростков к стрессу. Устойчивость проростков амаранта проявляется в количестве индуцированных молекул амарантина, образовавшихся после действия низкотемпературного стресса. Уровень повышения содержания амарантина в семядольных листьях после стрессового действия низкой температуры может

указывать на разную способность проростков, индуцировать максимальное для данной обработки количество антиоксидантов. По сравнению с контролем система синтеза амарантина придает большую устойчивость проросткам к действию гипотермии, семена которых были обработаны регуляторами роста.

Список литературы

1. Sanghera GS, Wani SH, Hussain W, Singh NB. Engineering cold stress tolerance in crop plants. *Current Genomics*. 2011;12(1)30–43. doi: 10.2174/138920211794520178
2. Park AR, Kim J, Kim B, Ha A, Son JY, Song CW, et al. Exogenous Bio-Based 2,3-Butanediols Enhanced Abiotic Stress Tolerance of Tomato and Turfgrass under Drought or Chilling Stress. *J Microbiol Biotechnol*. 2022;32(5):582–593. doi: 10.4014/jmb.2201.01025
3. Sarker U, Hossain MN, Iqbal MA, Oba S. Bioactive components and radical scavenging activity in selected advance lines of salt-tolerant vegetable amaranth. *Front Nutr*. 2020;7:587257. doi: 10.3389/fnut.2020.587257
4. Hussain HA, Hussain S, Khaliq A, Ashraf U, Anjum SA, Men S, et al. Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Front Plant Sci*. 2018;9:393; doi: 10.3389/fpls.2018.00393
5. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trend Plant Sci*. 2002;7(9):405–410. doi: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9
6. Gill SS, Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem*. 2010;48(12):909–930. doi: 10.1016/j.plaphy.2010.08.016
7. Rhaman MS, Imran S, Rauf F, Khatun M, Baskin CC, Murata Y, et al. Seed priming with phytohormones: an effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*. 2021;10(1):37. doi: 10.3390/plants10010037
8. Jisha KC, Vijayakumari K, Puthur JT. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiol Plant*. 2013;35:1381–1396. doi: 10.1007/s11738-012-1186-5
9. Pandey P, Ramegowda V, Senthil-Kumar M. Shared and unique responses of plants to multiple individual stresses and stress combinations: physiological and molecular mechanisms. *Front Plant Sci*. 2015;6:723. doi: 10.3389/fpls.2015.00723
10. Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids — pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987;148:350–382. doi: 10.1016/0076-6879(87)48036-1
11. Gins MS, Gins VK, Kononkov PF. Change in the biochemical composition of amaranth leaves during selection for increased amaranthine content. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2002;38(5):474–479. doi: 10.1023/A:1019980821313
12. Fox J, Leverage A. R and the Journal of Statistical Software. *J Stat Softw*. 2016;73(2):1–13. doi: 10.18637/jss.v073.i02
13. Li S, Jiang H, Wang J, Wang Y, Pan S, Tian H, et al. Responses of plant growth, physiological, gas exchange parameters of super and non-super rice to rhizosphere temperature at the tillering stage. *Sci Rep*. 2019;9(1):10618. doi: 10.1038/s41598-019-47031-9
14. Tewari AK, Tripathy BC. Temperature-stress-induced impairment of chlorophyll biosynthetic reactions in cucumber and wheat. *Plant Physiol*. 1998;117(3):851–858. doi: 10.1104/pp.117.3.851
15. Wittayathanarattana T, Wanichananan P, Supaibulwatana K, Goto E. A short-term cooling of root-zone temperature increases bioactive compounds in baby leaf *Amaranthus tricolor* L. *Front Plant Sci*. 2022;13:944716. doi: 10.3389/fpls.2022.944716
16. Deng XP, Cheng YJ, Wu XB, Kwak SS, Chen W, Eneji AE. Exogenous hydrogen peroxide positively influences root growth and metabolism in leaves of sweet potato seedlings. *Aust J Crop Sci*. 2012;6(11):1572–1578.
17. Baroli I, Niyogi KK. Molecular genetics of xanthophyll-dependent photoprotection in green algae and plants. *Philos Trans R Soc Lond. B Biol Sci*. 2000;355(1402):1385–1394. doi: 10.1098/rstb.2000.0700
18. Rodríguez-Concepción M, Forés O, Martiénez-García JF, González V, Phillips MA, Ferrer A, et al. Distinct light-mediated pathways regulate the biosynthesis and exchange of isoprenoid precursors during Arabidopsis seedling development. *The Plant Cell*. 2004;16(1):144–156. doi: 10.1105/tpc.016204
19. Nakashima T, Araki T, Ueno O. Photoprotective function of foliar betacyanin in leaves of *Amaranthus Cruentus* under drought stress. In: *Photosynthesis Research for Food, Fuel and the Future: 15th International Conference on Photosynthesis*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2013. p.485–488. doi: 10.1007/978-3-642-32034-7_102

20. Stanley L, Yuan YW. Transcriptional regulation of carotenoid biosynthesis in plants: so many regulators, so little consensus. *Front Plant Sci.* 2019;10:1017. doi: 10.3389/fpls.2019.01017

21. Stahl W, Sies H. Antioxidant activity of carotenoids. *Mol Asp Med.* 2003;24(6):345–351. doi: 10.1016/S0098-2997(03)00030-X

Об авторе:

Гинс Екатерина Муратовна — младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра картофеля им. А.Г. Лорха, Российская Федерация, 140051, Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литера «В»; e-mail: katuя.888888@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5685-6305



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-531-540
EDN: LQOTQG
УДК 633.853.52

Научная статья / Research article

Оценка исходного материала сои овощной *Glycine max* L. Merr. в Московской области

Ф.Э. Мульо Панолуиса  , Н.А. Семенова , Е.В. Романова 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 mfreddy.28fm@gmail.com

Аннотация. Эдамаме — особый вид сои (*Glycine max* L. Merr.) — собирают как овощ, пока семена еще не созрели (стадии R6 и R7), но уже имеют размер, заполняющий 80...90 % ширины стручка. Исследования проводились в период с 2020 по 2022 г. в Федеральном научном центре овощеводства и агротехнологическом департаменте аграрно-технологического института РУДН. Объект исследований — 4 сортообразца сои (*Glycine max* L.): образец А, образец F, сорт Hidaka и российский сорт Лира. Перед посевом семена сои инокулировали препаратами Оптимайз 400 (*Bradyrhizobium japonicum*) и Биобеста (*Sinorhizobium fredii*). В полевом опыте отбирали по 10 образцов растений сои с каждого участка в фазе биологической спелости для определения высоты растения, см, числа бобов на растении, шт., числа ветвей на растении, шт., толщины стебля, мм, среднего числа семян с растения, шт., массы 1000 семян, г, урожайности, т/га. Экспериментальная схема — полный случайный блок с факторным расположением. Таким образом, было 4 образца и 3 обработки (К — контроль, В1 — *Bradyrhizobium japonicum* и В2 — *Sinorhizobium fredii*) в трех повторностях. Исследование показало, что образец А имел самую высокую среднюю урожайность с гектара (2,70 т/га), а также массу 1000 семян — 159 г. В агроклиматических условиях Московской области вариант В2 показал самую высокую среднюю урожайность — 2,57 т/га и массу тысячи семян — 100,25 г. Определено, что более 90 % результатов, полученных по этим двум показателям, связаны с применением препарата В2. По остальным изучаемым показателям достоверных различий не обнаружено, и они не повлияли на показатели эффективности. Комбинация образца А и обработки В2 дала самую высокую среднюю урожайность — 2,99 т/га. Препарат на основе *Sinorhizobium fredii* показал наилучшие средние показатели для всех исследованных образцов.

Ключевые слова: эдамаме, биопрепараты, инокулянты, *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium fredii*, урожайность

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

История статьи: поступила в редакцию 10 мая 2023 г., принята к публикации 13 июля 2023 г.

© Мульо Панолуиса Ф.Э., Семенова Н.А., Романова Е.В., 2023



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

Для цитирования: Мульо Панолуиса Ф.Э., Семенова Н.А., Романова Е.В. Оценка исходного материала сои овощной *Glycine max* L. Merr. в Московской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 531—540. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-531-540

Evaluation of different lines of vegetable soybean *Glycine max* L. Merr. under conditions of the Moscow region

Freddy E. Mullo Panoluisa  , Natalia A. Semenova , Elena V. Romanova 

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 mfreddy.28fm@gmail.com

Abstract. Edamame is a special soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) harvested as a vegetable when the seeds are immature (R6 and R7 stage) and have expanded to fill 80 to 90 percent of the pod width. The study was conducted in the experimental field of Federal Scientific Vegetable Center in the Moscow Region in 2020–2022 and Agro-biotechnological department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University. The object of research was 3 accessions of soybean (*Glycine max* L.): accession A, accession F, Hidaka and Lira. Before sowing, soybean seeds were inoculated with Optimays 400 (*Bradyrhizobium japonicum*) and Biobesta (*Sinorhizobium fredii*). In the field experiment, 10 soybean samples were taken from each plot at the stage of biological ripeness to determine plant height (cm), number of pods per plant, number of stems per plant, stem width (mm), average number of seeds per plant, weight of 1000 seeds (g) and yield (t/ha). The experiment was designed in a complete random block with a factorial arrangement. Thus, we had 4 accessions and 3 treatments (C — control, V1 — *Bradyrhizobium japonicum* and V2 — *Sinorhizobium fredii*) with 3 replacations. The study showed that accession A had the highest average yield per hectare (2.70 t/ha) and weight of 1000 seeds (159 g). Under conditions of the Moscow region, variant V2 (*Sinorhizobium fredii*) had the highest average yield (2.57 t/ha) and weight of 1000 seeds (100.25 g). Therefore, more than 90 % of the results obtained for these two indicators are associated with the use of V2 treatment. For the rest of the studied indicators, no significant differences were found, and they did not affect the efficiency indicators. The combination of accession A and treatment V2 led to the highest average yield (2.99 t/ha). The product based on *Sinorhizobium fredii* showed the best indicators for all the studied samples.

Keywords: edamame, biological products, inoculants, *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium fredii*, productivity

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 10 May 2023. Accepted: 13 July 2023.

For citation: Mullo Panoluisa FE, Semenova NA, Romanova EV. Evaluation of different lines of vegetable soybean *Glycine max* L. Merr. under conditions of the Moscow regions. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):531—540. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-531-540

Введение

Одна из актуальных задач — расширение ассортимента потребляемых овощных культур, в число которых входит и овощная соя [1]. Эдамаме — это термин, который пришел из Японии и в буквальном переводе он означает бобы сои, которые после

приготовления подаются прямо в стручках. Зачастую овощную сою принято рассматривать как закуску, но это не всегда верно, скорее она является дополнительным компонентом основного блюда или отдельным блюдом овощного плана [2].

Овощную сою собирают в фазе технической спелости для потребления зеленых незрелых семян, часто даже в оболочке [3, 4]. Развитие и созревание сои протекает в две фазы: вегетативную (R1-R6) и репродуктивную (R7-R8). Обычно эдамаме собирают в возрасте R6, когда незрелые семена полностью развиты, но бобы еще зеленые [5, 6].

Зерновая и овощная соя отличаются друг от друга по ряду факторов, в т.ч. по особенностям агротехнических мероприятий. При выращивании овощной сои необходимо с осторожностью подходить к применению средств защиты растений, строго учитывая фазы роста и развития этой культуры. В сфере широкого культивирования потенциал овощной сои существенно выше, чем у зерновой. Кроме того, расширение ассортимента полезных для человека овощей способствует обеспечению продовольственной безопасности [7]. В питании населения на территории России имеется, например, проблема дефицита белка, чтобы решить эту проблему можно внедрять такую богатую белком культуру, как соя [8].

Овощная соя, как и соя зерновая, — бобовое растение, находящееся в симбиотических отношениях с азотфиксирующими бактериями [9]. Овощная соя для производства 1 т зерна усваивает приблизительно 80 кг азота [10], 50...60 % поглощения достигается за счет биологической фиксации. Условием формирования симбиоза сои с микроорганизмами является наличие в почве активных специфических штаммов клубеньковых бактерий. Изучение различных видов ризобий и их характеристика с помощью современной полифазной таксономии привели к описанию дополнительных новых родов и видов [11]. В настоящее время специфическими симбионтами сои считаются *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii*, *B. liaoningense*, *Bradyrhizobium sp.*, *Sinorhizobium fredii* [12]. Эти виды эволюционировали и распространились из центра происхождения сои.

Соя может формировать симбиотический аппарат с *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii*, *B. liaoningense*, *Mesorhizobium tianshanense*, *Sinorhizobium fredii* и *S. xinjiangense*. Для повышения качества семян и урожайности культуры проводят инокуляцию семян микробиологическими препаратами. Инокуляция всегда способствует увеличению урожайности сои [13]. Так, обработка семян инокулянтom, содержащим *Bradyrhizobium japonicum* (10 г на 1 кг семян), усиливает образование клубеньков на корнях и улучшает фиксацию азота [14, 15]. В странах, где *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii*, *B. liaoningense*, *Bradyrhizobium sp.*, *Sinorhizobium fredii* не являются аборигенной микрофлорой почвы или овощная соя выращивается на полях, ранее не используемых для этой цели, применение 10 г инокулянта на 1 кг семян позволяет усилить фиксацию азота [10, 16] и, таким образом, избежать нарушения образования клубеньков.

Многочисленные сорта сои отличаются различными предпочтениями к особенностям внешней среды. Таким образом, разумно проводить исследование особенностей совместной работы окружающей среды и генотипа, так можно установить сорта, которые будут иметь большую устойчивость в той или иной среде [3]. В зависимости от местности выгодно выращивать разные сорта эдамаме, и о том, какие именно, должен в обязательном порядке знать производитель, если он хочет получить экономическую выгоду [16–18].

Введение в культуру овощной сои в России может осуществляться разными путями: 1) интродукцией иностранных сортов; 2) подбором отечественных сортообразцов, которые пригодны к овощному использованию; 3) выведением новых отечественных сортов овощного направления [19].

В Федеральном научном центре овощеводства (ФНЦО) и агробιοтехнологическом департаменте аграрно-технологического института (АТИ) РУДН проводятся, начиная с 2015 г., исследования, направленные на интродукцию и адаптацию генотипов сои овощного типа.

Недостаточно проводить работы по адаптации и интродукции овощной сои разных сортов с целью применения в пищевой промышленности, следует понимать, что необходимо разрабатывать и внедрять в практику стратегии по контролю качества используемых семян, которые имеют высокую урожайность и эффективность со стороны агротехники сортов.

Цель исследования — провести оценку овощной сои из коллекционного материала, используя биохимические и морфологические признаки, и выделить сорта, которые в дальнейшем можно будет успешно применять для селекции и реализации на территории Российской Федерации в нечерноземных регионах.

Материалы и методы исследования

Исследования были проведены в период с 2020 по 2022 г. в ФНЦО и агробιοтехнологическом департаменте АТИ РУДН.

Объект исследований — 4 образца сои (*Glycine max* L.), большая часть данного коллекционного материала была предоставлена ФНЦО. Для эксперимента использовали материал японского происхождения (образец А, образец F и Hidaka) и российского (Лира). Перед посевом семена сои инокулировали препаратами: Оптимайз 400 (*Bradyrhizobium japonicum*) и Биобеста (*Sinorhizobium fredii*). Эти инокулянты способствуют активной фиксации атмосферного азота растениями, увеличивая доступность питательных элементов (и не только азота), тем самым повышая урожайность.

В полевом опыте отбирали по 10 растений сои (случайные образцы) с каждого участка в фазе биологической спелости для определения биометрических показателей (высота растения, см; число бобов на растении, шт.; число ветвей на растении, шт.; толщина стебля, мм), а также показателей структуры урожая (среднее число семян с растения, шт.; масса 1000 семян, г; урожайность, т/га).

Экспериментальная схема представляла собой полный случайный блок с факторным расположением. Принцип состоял в том, чтобы случайным образом распределять обработки по блокам экспериментальных единиц. В эксперименте использовали 4 сортообразца (образец А, образец F, Hidaka и Лира) и 3 варианта обработки (К — контроль, без обработки, В1 — *Bradyrhizobium japonicum* и В2 — *Sinorhizobium fredii*). Статистический анализ проводили с помощью программы InfoStat 2020.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты оценки биометрических показателей исходного материала сои по сортам и их средние значения после обработок растений приведены соответственно в табл. 1 и 2. Влияние различных вариантов обработок образцов сои на урожайность растений четырех рассматриваемых сортов демонстрирует рисунок.

Таблица 1

Биометрические показатели и урожайность образцов сои в зависимости от сорта, среднее за 2020–2022 гг.

Сорто-образец	Высота растения, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Число бобов на растении, шт.	Число ветвей на растении, шт.	Толщина стебля, мм	Масса 1000 семян, г	Число семян с растения, шт.	Урожайность, т/га
Образец А	61,92	9,27	36,2	3,43	9,83	159	95,83	2,70
Образец F	67,59	10,71	37,17	3,48	9,22	148,17	95,17	2,49
Hidaka	69,89	13,33	34,84	3,73	7,77	138,83	92	2,21
Лира	83,75	15,75	36,08	3,31	6,00	110,83	102,5	1,92
НСР05	10,1	0,48	1,69	0,32	0,47	5,75	3,48	0,15

Table 1

Biometric indicators and yield of soybean depending on variety (average for 2020–2022)

Variety	Plant height, cm	Attachment height of the lower bean, cm	Number of beans per plant	Number of stems per plant	Stem width, mm	1000-seed weight, g	Number of seeds per plant	Yield, t/ha
Accession A	61.92	9.27	36.2	3.43	9.83	159	95.83	2.70
Accession F	67.59	10.71	37.17	3.48	9.22	148.17	95.17	2.49
Hidaka	69.89	13.33	34.84	3.73	7.77	138.83	92	2.21
Lira	83.75	15.75	36.08	3.31	6.00	110.83	102.5	1.92
LS05	10.1	0.48	1.69	0.32	0.47	5.75	3.48	0.15

Таблица 2

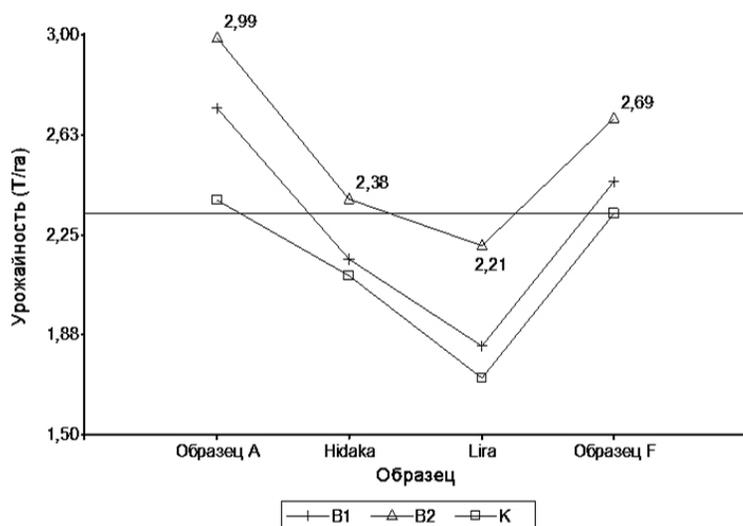
Урожайность сои и ее биометрические показатели в зависимости от варианта обработки растения, средние значения за 2020–2022 гг.

Вариант обработки	Высота растения, см	Высота прикрепления нижнего боба, см	Число бобов на растении, шт.	Число ветвей на растении, шт.	Толщина стебля, мм	Масса 1000 семян, г	Число семян с растения, шт.	Урожайность, т/га
Контроль	71,18	12,53	36,06	3,31	8,08	137,5	92,75	2,13
<i>Bradyrhizobium japonicum</i> (B1)	71,98	11,84	36,64	3,47	8,02	147,88	96,13	2,29
<i>Sinorhizobium fredii</i> (B2)	69,19	12,42	35,53	3,68	8,51	132,25	100,25	2,57
НСР05	8,74	0,41	1,46	0,28	0,41	4,98	3,013	0,12

Table 2

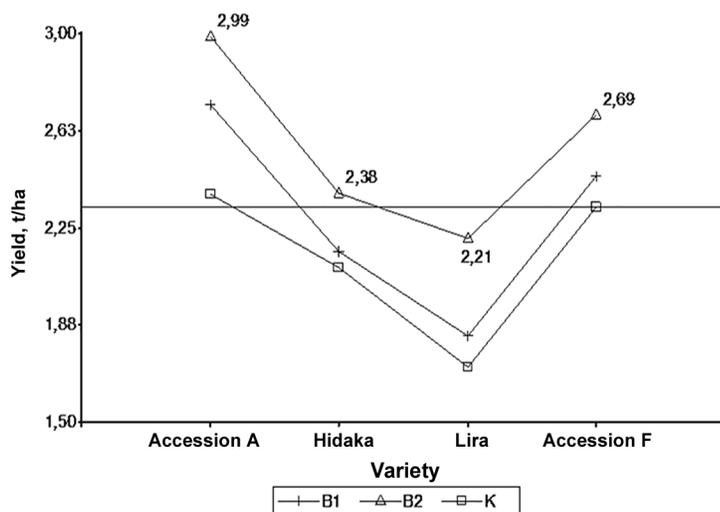
Soybean yield and biometric indicators depending on the treatment (average for 2020–2022)

Variants	Plant height, cm	Attachment height of the lower bean, cm	Number of beans per plant	Number of stems per plant	Stem width, mm	1000-seed weight, g	Number of seeds per plant	Yield, t/ha
Control	71.18	12.53	36.06	3.31	8.08	137.5	92.75	2.13
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	71.98	11.84	36.64	3.47	8.02	147.88	96.13	2.29
<i>Sinorhizobium fredii</i>	69.19	12.42	35.53	3.68	8.51	132.25	100.25	2.57
LSD05	8.74	0.41	1.46	0.28	0.41	4.98	3.013	0.12



Влияние вариантов обработки образцов сои на их урожайность в зависимости от сорта растений, среднее за 2020–2022 гг.: B1 – *Bradyrhizobium japonicum*; B2 – *Sinorhizobium fredii*; K – контроль

Источник: разработано авторами



Influence of treatments on soybean yield depending on the variety, average for 2020–2022:

B1 – *Bradyrhizobium japonicum*; B2 – *Sinorhizobium fredii*; K – control

Source: made by the authors

По высоте растений были обнаружены значимые различия ($p < 0,05$) для образцов сои: наибольшее среднее значение у Леры — 3,75 см и низкое значение — 61,92 см — у образца А; высота прикрепления нижнего боба у сорта Лира также имела самое высокое среднее значение 15,75 см, в то время как образец А — 9,27 см. Эти характеристики важны для создания новых сортов, так как оптимальная высота растения и высота прикрепления нижнего боба имеют решающее значение для использования сельскохозяйственной техники.

Статистически значимых различий по количеству бобов и ветвей на растении обнаружено не было. Однако, наибольшее среднее значение было получено у образца F — 37,17 бобов и сорта Hidaka — 3,73 ветвей на растении.

Статистический анализ показал, что на показатели: масса 1000 семян и число семян на растении — 90 % влияния обусловлено сочетанием действия биопрепаратов и генотипа сортообразцов сои. Наивысшее среднее значение массы 1000 семян было получено для образца А — 159 г, а образец Лира показала наибольшее количество семян с растения — 102,5 шт., но с небольшим весом и размером, что могло быть обусловлено тем, что данный сорт не адаптирован к условиям, где проводились исследования.

По урожайности с гектара выявлены весьма существенные различия, свидетельствующие тому, что влияние изучаемых факторов (сортообразцов и препаратов) на этот показатель составляет более 95 % ($p < 0,05$). Образец А показал самое высокое среднее значение урожайности — 2,70 т/га (см. табл. 1), а также массы 1000 семян.

В табл. 2 показано влияние применяемых обработок на биометрические показатели и среднюю урожайность образцов сои. В варианте обработки B2 (*Sinorhizobium fredii*) были получены самый высокий средний урожай — 2,57 т/га и масса тысячи

семян — 100,25 г. Можно сказать, что более 90 % результатов, полученных по этим двум показателям, связаны с использованием препарата В2. Для остальных изученных показателей обработка В1 (*Bradyrhizobium japonicum*) показала самые высокие значения, однако она не повлияла на урожайность.

Самая высокая урожайность 2,99 ц/га была получена при сочетании обработки В2 с образцом А. Можно сказать, что препарат на основе *Sinorhizobium fredii* показал наилучшую среднюю урожайность для всех исследуемых образцов. Сорт Лира показал урожайность ниже средней — 2,33 т/га, вероятно, потому что этот сорт адаптирован к другим агроклиматическим условиям.

Заключение

Овощная соя является перспективной культурой в связи с необходимостью увеличения производства продуктов питания, в т. ч. белковых, обогащения рациона питания разнообразными овощами, улучшения кормовой базы, повышения плодородия почвы.

В агроклиматических условиях Московской области в результате оценки исходного материала овощной сои установлено, что наилучшую урожайность с гектара 2,70 т/га и массу 1000 семян 159 г показал образец А в фазе физиологической спелости. Инокуляция семян перед посевом с *Sinorhizobium fredii* (В2) дала увеличение урожая на 20 % по сравнению с контрольной обработкой, а с В1 (*Bradyrhizobium japonicum*) — на 7,51 %. Кроме того, статистический анализ показал, что наибольшая средняя производительность была получена при сочетании образца А и обработки В2 (*Sinorhizobium fredii*) для района, где проводилось исследование. Также было отмечено, что образец F показал высокое значение урожайности и массы тысячи семян — 2,49 т/га и 148,17 г соответственно. Рекомендуется рассмотреть эти два сорта для продолжения процесса интродукции и селекции овощного сои.

Исследования показали, что инокуляция семян сои препаратами с *Bradyrhizobium japonicum* и *Sinorhizobium fredii* оказывает благоприятное воздействие на развитие и производительность культуры. Обработка особенно рекомендуется, когда нативные штаммы симбиотических бактерий отсутствуют в почве конкретного региона или их в ней мало.

Список литературы

1. Тильба В.А. Совершенствование приемов возделывания и переработки сои на основе инновационных элементов // Дальневосточный аграрный вестник. 2012. № 3 (23). С. 9–13.
2. Ващенко А.П. Научные основы и практические результаты селекции сои в Приморском крае: автореф. дис. ... д-ра сельхоз. наук. Хабаровск, 1996. 47 с.
3. Балакай Г.Т., Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Селицкий С.А. Пути усовершенствования элементов технологии возделывания сои // Мелиорация и гидротехника. 2019. № 4 (36). С. 100–120.
4. Кочегура А.В., Трунова М.В. Потенциал современных сортов сои для юга Европейской части России // Земледелие. 2010. № 3. С. 42–44.
5. Балакай Г.Т., Балакай Н.И. Поволжье — перспективная зона для возделывания сои // Земледелие. 2010. № 3. С. 16–18.

6. Djanta M.K.A., Agoyi E.E., Agbahoungba S., Quenum F.J., Chadare F.J., Assogbadjo A.E., Sinsin B. Vegetable soybean, edamame: Research, production, utilization and analysis of its adoption in Sub-Saharan Africa // *Journal of Horticulture and Forestry*. 2020. Vol. 12. № 1. P. 1–12. doi: 10.5897/JHF2019.0604
7. Calviño P.A., Sadras V.O., Andrade F.H. Quantitation of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean // *Field Crops Research*. 2003. № 83. P. 67–77. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00062-5
8. Шафигуллин Д.Р. Изучение изменений некоторых биохимических показателей сои овощной (*Glycine max* L.) // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2019. Т. 41. № 3. С. 30–33. doi: 10.32935/2221-7312-2019-41-3-30-33
9. Agoyi E.E., Afutu E. Ureide essay to assess N₂-fixation abilities of soybean (*Glycine max*) genotypes under different Bradyrhizobium strains // *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2017. № 20. P. 65–72. doi: 10.1007/s12892-016-0132-0
10. Малашонок А.А., Пашина Л.Л. Стратегия развития соевого подкомплекса Амурской области. Ижевск: ООО «ПРИНТ», 2022. 161 с.
11. Низкий С.Е. Ресурсно-ценностный подход к оценке развития растительных сообществ на заброшенных сельскохозяйственных землях Амурской области. Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2019. 140 с.
12. Тильба В.А., Бегун С.А. Совместное применение молибдена и нитрагина для предпосевной обработки семян сои // Научно-технический бюллетень СО ВАСХНИЛ. 1987. № 31. С. 33–42.
13. Синеговский М.О., Антонова Н.Е. Экономика производства сои: учет сортовых и региональных особенностей. Благовещенск: ОАО «ИПК «ОДЕОН», 2018. 128 с.
14. Васильчиков А.Г., Гурьев Г.П. Изучение эффективности различных форм микробных препаратов для инокуляции сои // *Земледелие*. 2017. № 3. С. 3–4.
15. Гайдученко А.Н., Тильба В.А. Короткоротационные севообороты универсального использования в условиях Амурской области // Пути повышения ресурсного потенциала сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Владивосток. 2007. С. 299–317.
16. Шепель О.Л., Асеева Т.А., Зволимбовская М.П. Зависимость хозяйственно-биологических признаков сои от погодных условий Среднего Приамурья // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 8. С. 16–22. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10802
17. Гайдученко А.Н., Толмачев М.В. Сравнительная оценка специализированных короткоротационных севооборотов и бесменных посевов при возделывании сои в Амурской области // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015. № 5 (127). С. 5–10.
18. Тильба В.А. Совершенствование приемов возделывания и переработки сои на основе инновационных элементов // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2012. № 3 (23). С. 9–13.
19. Zhang Q., Li Y., Chin K., Qi Y. Vegetable soybean: Seed composition and production research // *Italian Journal of Agronomy*. 2017. Т. 12. № 3. doi: 10.4081/ija.2017.872

References

1. Tilba VA. The improvement of methods of cultivation and soybean processing based of innovative elements. *Far East agrarian herald*. 2012;(3):9–13. (In Russ.).
2. Vashchenko AP. *Nauchnye osnovy i prakticheskie rezul'taty selektsii soi v Primorskom krae* [Scientific foundations and practical results of soybean breeding in the Primorsky Territory]. Khabarovsk; 1996. (In Russ.).
3. Balakay GT, Dokuchaeva LM, Yurkova RE, Selitsky SA. Ways of improving elements of soy cultivation technologies. *Scientific journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. 2019;(4):100–120. (In Russ.). doi: 10.31774/2222-1816-2019-4-100-120
4. Kochegura AV, Trunova MV. Potential of modern soya' sorts for the south of the European part of Russia. *Zemledelie*. 2010;(3):42–44. (In Russ.).
5. Balakai GT, Balakai NI. Scientifically grounded technologies make the production of soya profitable. *Zemledelie*. 2010;(3):16–18. (In Russ.).
6. Djanta MKA, Agoyi EE, Agbahoungba S, Quenum FJ, Chadare FJ, Assogbadjo AE, et al. Vegetable soybean, edamame: Research, production, utilization and analysis of its adoption in Sub-Saharan Africa. *Journal of Horticulture and Forestry*. 2020;12(1): 5CE1F8062588. doi: 10.5897/JHF2019.0604
7. Calviño PA, Sadras VO, Andrade FH. Quantitation of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean. *Field Crops Research*. 2003;83(1):67–77. doi: 10.1016/S0378-4290(03)00062-5
8. Shafigullin DR. Study of changes in some biochemical parameters of vegetable soybean (*Glycine max* L.). *Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex*. 2019;(3):30–33. (In Russ.). doi: 10.32935/221-7312-2019-41-3-30-33
9. Agoyi EE, Afutu E. Ureide essay to assess N₂-fixation abilities of soybean (*Glycine max*) genotypes under different Bradyrhizobium strains. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2017;20(2):65–72. doi: 10.1007/s12892-016-0132-0

10. Malashonok AA, Pashina LL. *Strategiya razvitiya soevogo podkompleksa Amurskoi oblasti* [Development strategy for the soybean subcomplex of the Amur region]. Izhevsk; 2022. (In Russ.).
11. Nizky SE. *Resursno-tsennostnyi podkhod k otsenke razvitiya rastitel'nykh soobshchestv na zabroshennykh sel'skokhozyaistvennykh zemlyakh Amurskoi oblasti* [Resource-value approach to assessing the development of plant communities on abandoned agricultural lands in the Amur region]. Blagoveshchensk; 2019. (In Russ.).
12. Tilba VA, Begun SA. Combined use of molybdenum and nitragine for pre-sowing treatment of soybean seeds. *Nauchno-tehnicheskii byulleten' SO VASKhNIL*. 1987;(31):33–42. (In Russ.).
13. Sinegovsky MO, Antonova NE. *Ekonomika proizvodstva soi: uchet sortovykh i regional'nykh osobennostei* [Economics of soybean production: varietal and regional characteristics. Blagoveshchensk; 2018. (In Russ.).
14. Vasilchikov AG, Gurev GP. Investigation of efficiency of different forms of microbial preparations for soybean inoculation. *Zemledelie*. 2017;(3):3–5. (In Russ.).
15. Gaiduchenko AN, Tilba VA. Short-term crop rotations of universal use in the conditions of the Amur region. In: *Ways to increase resource potential of agricultural production: conference proceedings*. Vladivostok; 2007. p. 299–317. (In Russ.).
16. Shepel OL, Aseeva TA, Zvolimbovskaya MP. Dependence of economic and biological characteristics of soybean on the hydrothermal conditions of the Middle Amur region. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2020;34(8):16–22. (In Russ.). doi: 10.24411/0235-2451-2020-10802
17. Gayduchenko AN, Tolmachev MV. Comparative evaluation of specialized short crop rotations and permanent crops in soybean cultivation in the Amur region. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2015;(5):5–10. (In Russ.).
18. Tilba VA. The improvement of methods of cultivation and soybean processing based of innovative elements. *Far East agrarian herald*. 2012;(3):9–13. (In Russ.).
19. Zhang Q, Li Y, Chin K, Qi Y. Vegetable soybean: Seed composition and production research. *Italian Journal of Agronomy*. 2017;12:872. doi: 10.4081/ija.2017.872

Об авторах:

Мульо Панолуиса Фредди Эдуардо — аспирант агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: mulyo_panoluisa_f@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-5312-3800

Семенова Наталья Анатольевна — кандидат филологических наук, доцент кафедры русского языка номер 3, ИРЯ, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: semenova-na@rudn.ru
ORCID: 0000-0001-9638-6857

Романова Елена Валерьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: Romanova-ev@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-8287-5462

About authors:

Mullo Panoluisa Freddy Eduardo — PhD student, Agrobiotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: mfredy.28fm@gmail.com
ORCID: 0000-0002-5312-3800

Semenova Natalya Anatolyevna — Candidate of Philological Sciences, Associate Professor, Department of Russian Language No. 3, Institute of Russian Language, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: semenova-na@rudn.ru
ORCID: 0000-0001-9638-6857

Romanova Elena Valerievna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Agrobiotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: Romanova-ev@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-8287-5462



Защита растений Plant protection

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-541-553
EDN: MNPTDN
UDC 632.08

Review article / Обзорная статья

World experience in the application of low-energy electron irradiation in agriculture

Oksana V. Tkhorik , Vladimir A. Kharlamov  , Irina V. Polyakova ,
Nadezhda N. Loy , Maria G. Pomyasova , Valentin I. Shishko 

Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov
Institute», *Obninsk, Russian Federation*
 kharlamof@gmail.com

Abstract. According to the long-term observations of the FAO, losses of plant-based agricultural products are estimated to be between 10 and 30 %. The main causes of these losses are plant pathogens, spoilage microorganisms, and insect pests. The study discusses the problems of ensuring phytosanitary safety of agricultural products and proposes the use of radiation technology instead of chemical treatment. Radiation technology has a long history of research and application, spanning over 75 years. The most extensive and detailed data on the application of this technology have been obtained for gamma installations, which use natural radioactive isotopes. Low-energy (less than 300 keV) electron accelerators were invented relatively recently, so the question of their use in agriculture is relevant. Treatment with low-energy electron radiation combines all the advantages of radiation treatment of food and agricultural products with gamma radiation, and at the same time, significantly reduces the risk of damage to biological structures inside the irradiated object due to the low penetrating power of the radiation. This study notes that low-energy electron accelerators can be successfully used to combat plant infectious diseases, reducing the amount of plant pathogens on seeds, without affecting their growth parameters.

© Tkhorik O.V., Kharlamov V.A., Polyakova I.V., Loy N.N., Pomyasova M.G., Shishko V.I., 2023



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

The use of low-energy electron irradiation to prevent microbiological spoilage is also discussed. The nutritional qualities of irradiated products are not significantly altered. The method of radiation disinfestation (control of insect pests) using low-energy electron radiation has also proven to be effective. However, it should be noted that additional research is necessary to determine the optimal doses of low-energy radiation for each type of product and to ensure safety for human health and the environment. Generally, the use of radiation technology in agriculture has great potential and can become an effective means of improving productivity and food safety. This method of food processing has been recognized as safe for human health by several authoritative international organizations, including the UN (FAO), WHO, IAEA, and others.

Keywords: food irradiation, radiosensitivity, microbiological safety, crops, phytosanitary safety, insect-pest, sowing quality of seeds, food quality, shelf life

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 20 March 2023. Accepted: 7 September 2023.

For citation: Tkhorik OV, Kharlamov VA, Polyakova IV, Loy NN, Pomyasova MG, Shishko VI. World experience in the application of low-energy electron irradiation in agriculture. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):541—553. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-541-553

Introduction

The main reasons for the loss of agricultural products of plant origin during storage are pathogenic microflora and insect pests. About 50 species of microorganisms are found on seeds, but the number of species is not so significant. The basis of the microflora of cereals is the non-spore-bearing bacillus of the genus *Pseudomonas*, micrococcus, lactic acid fermentation bacteria, and a small number of fungi. During storage, the typical microflora characteristic of benign grain changes significantly. The dominant components of the fungal microflora are *Penicillium* and *Aspergillus* («mould fungi») and other pathogens that cause seed spoilage [1, 2].

Traditionally, in the system of protective measures against phytopathogens of grain, an important place is given to treat seeds and vegetative plants with chemical agents. This method of plant protection mainly leads to the pollution of agricultural products and the environment [3–5]. Radiation technologies are one of the ways to improve the methods of combating plant pathogens.

Radiation technologies in agriculture and food industry have been used for more than 75 years [6–8], mainly for the destruction of insects, suppression of pathogens, increasing shelf life of products, preventing germination of seeds and root crops [9]. According to the IAEA recommendations, for radiation processing of foodstuffs, it is considered safe to use: gamma-irradiation facility with such radionuclides as ^{60}Co or ^{137}Cs ; electron irradiation with energy not exceeding 10 MeV; bremsstrahlung with energy no more than 5 MeV [10–12]. Each of these types of radiation has both advantages and disadvantages [13].

The radiation parameters of gamma-irradiation facilities are limited by the characteristics of the radionuclides used in them. Electron accelerators make it possible to change the intensity and energy of the radiation. Therefore, the time of electron

irradiation takes several seconds, compared to minutes and even hours, in the case of using gamma radiation sources. In addition, electron accelerators in an inoperative (off) state are safe due to the absence of a radioactive source, which means that they do not require additional physical protection for the service personnel [14, 15].

Electron accelerators are conventionally divided into three groups: low-, medium- and high-energy [15]. The critical feature of electron accelerators is the relatively shallow depth of penetration into the irradiated object. The radiation dose generated in the surface layer of an object depends on the electron energy, the distance to the irradiated object, and the duration of the irradiation. In the case of irradiation of plant seeds with low-energy electrons (with an energy of 70 to 300 keV), the radiation does not reach the embryo and therefore does not violate their growth qualities.

The work aims to assess the possibility of introducing low-energy (up to 300 keV) electron accelerators into the agro-industrial complex.

Design and principle of operation of a low-energy electron accelerator

The initial element of any accelerator is an injector, which contains a source (emitter) of a directed flux of low-energy particles (electrons), as well as high-voltage electrodes and magnets that extract the beam from the source and form it. The basic scheme of the electron acceleration process involves three stages:

- (1) beam formation and injection;
- (2) beam acceleration;
- (3) beam extraction to the target [14].

Many works have been devoted to the design of modern electron accelerators. Accelerators are used for cross-linking of polymers, purification of liquids and gases, surface sterilization, plasma heating during thermonuclear fusion, radiation treatment (disinfection) of food products, and prevention of the germination of agricultural products [15–17].

Depending on their design, accelerators can be classified into linear (i.e. flat cathode) and scanning. The principle of operation of a linear accelerator is based on a typical linear cathode generator. The principle of operation of an electron generator is that when a flat linear tungsten cathode (length from 0.15 to 2 m) is heated, electrons are emitted from this cathode due to thermionic emission. The energy of the emitted electrons depends on the accelerating voltage applied to the cathode. Typically, this voltage varies from 120 to 300 kV. For 70 % of the depth dose, the acceptable range of the processed mass varies from 1 to 380 g/m² (300 kV). The upper limits of the above range are 120, 180 and 270 g/m² for voltages of 175, 200 and 250 kV, respectively. In modern generators with a wide beam zone, two to four parallel cathodes are installed. These cathodes operate at high voltage, while the anode, which forms the outer shell of the accelerating chamber, is grounded.

The electrons formed in the accelerating chamber are directed to a tungsten target with a thickness of about 12 mm. The target is a foil designed to align the beam and form a rectangular electron field. At the same time, the unit has a cooling system based

on nitrogen circulating in it. The cooling system is designed to provide heat dissipation from the constantly heating target.

The accelerator head is housed in a protective casing that completely protects against any radiation. The average annual dose for personnel is about 16.3 mrem, that is, about 10 % of the dose from Earth's natural background radiation. The accelerator head is located directly above the conveyor for faster and more uniform food and agricultural products. The throughput of the accelerator for a dose of 10 kGy depends on the type of machine and ranges from 450 to 1600 cm/min.

Several works [18–21] use a unique rotating grain device, which allows the irradiated samples to rotate, simultaneously shaking and vibrating. This technique was developed specifically for radiation treatment of seeds and cereals. It allows achieving a higher uniformity of irradiation when processing the product with low-energy electrons.

This was experimentally confirmed in [22]. It used indicator beads made of paraffin wax and a radiation-sensitive dye (methyl yellow) to visualize the absorption of electron energy by changing colour (from yellow to red). When the balls were treated with electrons at different accelerating voltages on the rotator tray, the colour of the surface of the balls changed uniformly at all voltages, indicating that the surface of the balls was uniformly exposed to the electron radiation. When the balls were cut, the interior remained yellow, indicating that low energy electrons can only reach a limited (outer) portion of the balls. The penetrating power depends on the energy of the electrons. Electrons with an accelerating voltage of 200 keV penetrated only a few hundred micrometres of the surface. In comparison, electrons with an energy of 1500 keV could penetrate to the centre of the ball. Likewise, the distribution and penetration of electrons have been demonstrated for rice grains coloured with methyl yellow.

The design of the scanning accelerator is described in [23]. Scanning accelerators use a linear tungsten filament as an electron emitter. The essence of this method is that the formed thin beam, with the help of a system of bending magnets, scans the irradiated product. Thereby, due to the time spent by the beam at one point or another in space, the desired dose is accumulated in the product. Works [20–27] were carried out using this method of irradiation.

Radiation surface disinfection of seeds of agricultural plants. E-ventus technology

E-ventus technology is an environmentally friendly method of seed disinfection without chemicals, in which seeds are processed by low energy electrons (less than 300 keV). In Germany, this technology was developed at the Fraunhofer Institute for Organic Electronics, Electron Beam and Plasma Technologies. E-ventus technology aims to eliminate seed pathogens in the early stages [28, 29].

The principle of operation of the e-ventus installation of EVONTA — Service GmbH [30] is as follows. The installation has two generators of electrons, which are located opposite each other. Passing through the irradiated area, the seeds are exposed to ionizing radiation during the free fall of the grain. At the same time, electrons have

sufficiently low energy to penetrate the depths and reach the embryo of seeds [9, 30]. Due to this, the materials are exclusively surface treated. The penetrating power of electron radiation depends on the energy of the particles and the density of the processed product. Thus, for wheat and barley treated with an energy of 145 keV, the penetration depth is 0.066 mm and 0.12 mm, respectively, and for maize with an electron energy of 125 keV — 0.06 mm [28, 29].

The e-ventus method of EVONTA — Service GmbH technology has shown an effective result in the fight against stone smut (*Tilletia caries*) in winter wheat. In the period from 2000 to 2001, the germination of some crops was determined: winter wheat, barley, rye and triticale (a hybrid of wheat and rye). They have been processed with chemicals and e-ventus. It was found that the yield of grain processed by e-ventus technology is the same as that of chemical processing [30].

In 2000, a mobile unit for e-ventus was put into operation. In a stationary installation, electrons with an energy of 105...145 keV, with a capacity of 30 t/h, are used. With an average income of 50 euros per ton of treated seeds, cost recovery is achieved with a production of about 5000...7500 t/year, with large volumes, a profit is generated. The e-ventus seed treatment plants are located in the seed trading centres in Hainichen and Magdeburg (Germany) [9].

The advantages of the e-ventus method, as described on the EVONTA — Service GmbH website [30], are:

- environmentally friendly method;
- faster germination of seeds and better plant vitality;
- lack of resistance of pathogens;
- can be used not only for cereal seeds but also for all types of seed raw materials;
- farm animals do not use chemical fungicides together with the seed.

Radiation disinsection

An industrial-grade electron accelerator manufactured by Nissin High-Voltage Co. Ltd. (Japan) is used to control insect pests. Irradiation at a dose of 3 kGy with electrons with an energy of 80 keV (accelerating voltage 150 kV, current 4.4 and 6.4 mA, at a distance of 5 cm) effectively disinfects brown rice grains previously infected with corn weevil (*Stiophilus zeamais* Motchulsky) and Indian flour moth (*Plodia interpunctella*), as well as adzuki beans infected with weevil [25].

It has been shown that electron irradiation has a different effect on insect pests at different stages of development [20]. Adult specimens of the rust-red flour beetle (*T. castaneum*) and Indian meal moth (*P. interpunctella*), which damage rice, turned out to be more resistant than their larvae and pupae and were inactivated by irradiation at a dose of 4.8 kGy and 7.2 kGy, respectively (electron accelerator Van de Graaff, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd, Japan; accelerating voltage 150 kV, current 4 μ A, distance 15 cm, dose rate 0.48 kGy/min, time 1...15 min, electron energy 60 keV). The larvae of the Chinese weevil (*Callosobruchus chinensis* L.) inside the adzuki bean partially survive after electron irradiation [20].

The dose required for disinsection (7.2 kGy; 170 kV, 4 μ A, 15 min) is 1/3 of the dose for surface radiation disinfection of rice (21.6 kGy; 170 kV, 4 μ A, 45 min) [31].

The radiation sensitivity of the Chinese weevil (*Callosobruchus chinensis* L.), the primary pest of the adzuki bean (*Vigna angularis*), decreased with increasing age. The eggs of the Chinese weevil were highly susceptible to electron radiation, while the 18-day stage (adult insect) was the most resistant. The death of 80 % of adult insects occurs at a dose of 10 kGy (Van de Graaff electron accelerator, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd, Japan; accelerating voltage 170 kV, current 2 μ A, time 20 min). Electron irradiation at this dose does not affect the germination of adzuki [27].

The study of brown rice grains by the magnetic resonance method showed that most of the larvae of the corn weevil (*Stiophilus zeamais* Motchulsky) are concentrated on the periphery of the grain and only a few in the centre [26]. Therefore, most of both larvae of insect pests and adults die after electron irradiation at a dose of 30 kGy (Van de Graaff electron accelerator, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd., Japan, accelerating voltage 170 kV, current 4 μ A, distance 15 cm, time 30 min, dose rate 1 kGy/min). In [26], the possibility of an effective combination of electron irradiation and sparing fumigation with phosphine was shown to control insect pests.

Radiation surface disinfection of agricultural products. The quality of irradiated food

Microorganisms are located on the surface of seeds, which means that electrons with low energy (up to 300 keV) can deactivate microorganisms without deteriorating the sowing qualities of seeds [32].

Brown rice, wheat and buckwheat were exposed to electron irradiation (electron accelerator Van de Graaff, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd., Japan) at various modes: 180 kV, 8 μ A, 30 min; 200 kV, 14 μ A, 15 min; 225 kV, 22 μ A, 4 min; 250 kV, 40 μ A, 2 min; 300 kV, 40 μ A, 2 min; 500 kV, 40 μ A, 2 min; at a distance of 17 cm from the irradiated object. The results show that at an accelerating voltage of 180–225 kV, the microbial contamination of the grain decreases to 100 CFU/g. The deterioration in the quality (degradation of starch) of the grain was insignificant [33].

According to [19], the electron energy required to reduce microbial contamination to a level below 10 CFU/g is 60 keV — for brown rice, 75 keV — for wheat, 100 keV — for white pepper, coriander and basil, 130 keV — for buckwheat, 160 keV for unprocessed rice and 210 keV for black pepper. Irradiation with such parameters did not significantly affect the quality of the products (Van de Graaff electron accelerator, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd., Japan; accelerating voltage 180...250 kV, current 8...90 μ A, distance 17 cm, time 1...30 min).

Doses of electron irradiation (electron accelerator EBC-150–50–45; accelerating voltage 130 and 150 kV) of wheat and brown rice to reduce microbial contamination to a level of 100 CFU/g were 14 and 12.5 kGy, respectively, and did not cause starch degradation [24].

Lipid oxidation in brown rice was not detected when exposed to low energy electronic radiation (Van de Graaff electron accelerator, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd., Japan; accelerating voltage: 170...200 kV, current 4...14 μ A, distance 17 cm, time 60 min). The total microbial number under such irradiation was 10 CFU/g [31].

Electron irradiation up to 200 keV (dose 10 kGy) did not reduce the germination percentage of seeds of adzuki beans and mustard, while in mungo beans, this indicator was reduced [32]. The energy of electrons on the surface of seeds (distance 15 cm from the irradiation source) at an accelerating voltage of 170...200 kV ranges from 60 to 100 keV (Van de Graaff electron accelerator, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd, Japan). The number of seeds studied decreased by less than 10 CFU/g. Similar effects were observed in [34] for seeds of spring wheat cv. Irgin (wide-area electron accelerator Duet, ISE SB RAS, Tomsk, Russia). With an increase in the electron energy to 305 keV, an improvement in the disinfecting effects is observed.

Treatment of spring barley with Vladimir voltage at doses of 30...150 kGy and voltages of 130 and 160 kV (wide-range electron accelerator Duet, Russia) revealed a reduced formation of chlorophylls and carotenes in barley leaves [35]. In the phase of manifestation of tillering, the development of infection of plants with *Bipolaris sorokiniana* is observed with a simultaneous decrease in tillering.

Presowing treatment of seeds of the spring barley cv. Vladimir with low-energy radiation at a voltage amplification of 160 kV and a dose of 4...8 kGy (wide-scale electron accelerator Duet, Russia) with a high degree of susceptibility and disease of seedlings [36].

Presowing treatment with electron radiation with an energy of 100 keV and an absorbed dose of 15 kGy (wide-area electron accelerator Duet, Russia) of spring wheat improves the morphometric parameters of seedlings [37].

While the electron irradiation of 130 keV led to the inhibition of growth rates. Treatment of seeds of cucumber varieties Nezhinskie and Izyashchnye under the same irradiation regimes led to a decrease in the degree of seedling damage by *Fusarium* [38].

It was found in [39] that the pre-sowing treatment of spring wheat seeds with low-energy radiation (below 300 keV) at doses of 1...8 kGy (wide-angle parametric electron accelerator Duet, Russia) is exposed to reduce the prevalence and severity of the manifestation of *Bipolaris sorokiniana* on seedlings of spring wheat.

To sterilize (kill all microorganisms), soybeans required a dose of 20 kGy of gamma radiation and 26 kGy of electron irradiation (Van de Graaff electron accelerator, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd., Japan) with an energy of 60 keV. Electron irradiation at these doses did not affect the germination of irradiated seeds, while gamma irradiation disrupted growth processes [21]. Unlike gamma irradiation, electronic radiation causes slight lipid oxidation at the surface of the beans.

Disinfection with low-energy (60 keV) electrons (Van de Graaff electron accelerator, Nissin High Voltage Engineering Co. Ltd, Japan; accelerating voltage 170 kV, distance 15 cm, time 3.3–10 min) improves the quality of soybeans for processing them into soy milk and tofu (bean curd). After heat treatment (92 °C), the preservation (up to 5 days at 35 °C) of soy milk obtained from irradiated (170 kV, 10 min) soybeans improves [40].

Low-energy electron irradiation is also used to treat seeds to increase their shelf life. In [41], the seeds of pumpkin (*Cucurbita* spp. L.) and flax (*Linum usitatissimum* L.) were treated with electron radiation with an energy of 200 keV and doses of 8 and 10 kGy (electron accelerator at Bühler AG with auxiliary equipment Laatu, Uswil, Switzerland), as a result of which a decrease in the microbiological load was observed, while the organoleptic properties did not change. The number of volatile aldehydes in the studied seeds increased. In pumpkin seeds after irradiation with a dose of 10 kGy, a decrease in linoleic acid and an increase in oleic acid are observed.

Of course, the problem of contamination of food products of plant origin with bacteria pathogenic for humans is essential. Such infections are often caused by enterohemorrhagic *E. coli* O157: H7, *Salmonella enterica* of various serotypes, *Salmonella enteridis*, *Shigella sonnei* and others. Infections caused by these pathogens can be associated with the consumption of tomatoes, watermelons, unpasteurized orange and apple juices, alfalfa sprouts, clover and beans, and nuts [42].

It has been shown [43] that electron irradiation at a dose of 12 kGy with an efficiency of 80 % disinfects seeds of fenugreek, clover and mung beans artificially seeded with *E. coli* strain K12 (electron accelerator REAMODE, Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology, Germany; accelerating voltage 140 kV, current 5 μ A, distance 100 mm; conveyor speed from 87 mm/s (for a dose of 12 kGy) to 250 mm/s (for a dose of 4 kGy)). This did not affect germination, growth, and the final mass of seedlings of three types of seeds. Irradiation of the bean seeds did not change the seedling morphology, i. e. curl, or seedling colour.

Conclusion

Irradiation with low-energy (up to 300 keV) electron radiation is one of the most effective methods of disinfection (disinfection and disinfestation) of dry food ingredients (except for powdered products) such as cereals, dehydrated vegetables, spices, and legumes with a slight deterioration in their quality. Parts of the grains irradiated with electrons are removed in husks and bran during peeling and grinding; therefore, they do not enter human food. The organoleptic properties and chemical composition of irradiated food products practically do not change.

Irradiation of seeds of agricultural plants (for example, cereals, legumes) with electron radiation with an energy below 300 keV in disinfecting doses does not significantly affect germination, growth, weight, or morphology of seedlings.

Thus, low-energy (up to 300 keV) electron irradiation can be successfully used to combat insects and pathogenic microflora of plants, solve problems of agricultural products' safety, food safety for humans and animals, and solve environmental problems associated with the use of chemical plant protection products.

References/ Библиографический список

1. Muller G, Lietz P, Munch HD. *Mikrobiologiya pishchevykh produktov rastitel'nogo proiskhozhdeniya* [Microbiology of plant foods]. Moscow; 1977. (In Russ.).

Мюллер Г., Литц П., Мюнх Г.Д. Микробиология пищевых продуктов растительного происхождения / пер. с нем. А.М. Калашниковой; под ред. И.М. Грачевой. М.: Пищевая промышленность, 1977. 344 с.

2. Smirnova TA, Kostrova EI. *Mikrobiologiya zerna i produktov ego pererabotki* [Microbiology of grain and products of its processing]. Moscow: Agropromizdat publ.; 1989. (In Russ.).

Смирнова Т.А., Кострова Е.И. Микробиология зерна и продуктов его переработки. М.: Агропромиздат, 1989. 159 с.

3. Pinstrup-Anderson P, Pandey-Lorch R, Rosegrant MW. *The world food situation: recent developments, emerging issues, and long-term prospects*. Vision 2020: Food Policy Report. Washington, DC: International Food Policy Research Institute; 1997.

4. Tilman D, Fargione J, Wolff B, D'Antonio C, Dobson A, Howarth R, et al. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*. 2001;292(5515):281–284. doi: 10.1126/science.1057544

5. Makarova MA, Shevtsova AA. Prospects of application of new means of protection against diseases in maize seed crops. *Far East agrarian herald*. 2017;(3):55–60. (In Russ.).

Макарова М.А., Шевцова А.А. Перспективы применения новых средств защиты от болезней в семенных посевах кукурузы // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. Т. 43. № 3. С. 55–60.

6. Morrison RM. *An economic analysis of electron accelerators and cobalt-60 for irradiating food*. Technical Bulletin No. 1762. Washington, DC; 1989.

7. Pikaev AK. Current state of radiation processing. *Russian Chemical Reviews*. 1995;64(6):609–640. (In Russ.).

Пикаев А.К. Современное состояние радиационной технологии // Успехи химии. 1995. Т. 64. № 6. С. 609–640.

8. Chernyaev AP, Varzar SM. Particle accelerators in modern world. *Yadernaya fizika*. 2014;77(10):1266–1278. (In Russ.). doi: 10.7868/S0044002714100031

Черняев А.П., Варзарь С.М. Ускорители в современном мире // Ядерная физика. 2014. Т. 77. № 10. С. 1266–1278. doi: 10.7868/S0044002714100031

9. Kozmin GV, Geraskin SA, Sanzharova NI. *Radiatsionnyye tekhnologii v sel'skom khozyaystve i pishchevoy promyshlennosti* [Radiation technologies in agriculture and food industry]. Obninsk; 2015. (In Russ.).

Козьмин Г.В., Гераськин С.А., Санжарова Н.И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. 400 с.

10. Bezuglov VV, Bryazgin AA, Vlasov AY, Voronin LA, Panfilov AD, Radchenko VM, et al. Industrial electron accelerators ILU for medical products sterilization and food treatment. *Physics of elementary particles and atomic nuclei, letters*. 2016;13(7):1581–1585. (In Russ.).

Безуглов В.В., Брызгин А.А., Власов А.Ю., Воронин Л.А., Панфилов А.Д., Радченко В.М., Ткаченко В.О., Штарклев Е.А. Промышленные ускорители электронов ИЛУ для стерилизации медицинских изделий и обработки пищевых продуктов // Письма в ЭЧАЯ. 2016. Т. 13. № 7. С. 1581–1585.

11. Bryazgin AA, Bezuglov VV, Voronin LA, Korobeynikov MV, Maximov SA, Nekhaev VE, et al. Industrial electron accelerators type ILU for food products treatment. In: *Radiation technologies in agriculture and food industry: Current state and prospects: conference proceedings*. Obninsk; 2018. p.127–131. (In Russ.).

Брызгин А.А., Безуглов В.В., Воронин Л.А., Коробейников М.В., Максимов С.А., Нехаев В.Е., Радченко В.М., Сидоров А.В., Ткаченко В.О., Факторович Б.Л. Промышленные ускорители ИЛУ для облучения пищевых продуктов // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сб. докл. межд. науч.-практ. конф., Обнинск, 26–28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 127–131.

12. Sanzharova NI, Kozmin GV, Bondarenko VS. Nuclear technologies in agriculture: Science and technology development strategy. *Innovatics and Expert Examination*. 2016;(1):197–206. (In Russ.).

Санжарова Н.И., Козьмин Г.В., Бондаренко В.С. Радиационные технологии в сельском хозяйстве: стратегия научно-технического развития // Инноватика и экспертиза. 2016. Т. 16, № 1. С. 197–206.

13. Pimemov EP, Pavlov AN, Vasileva NA, Morozova AI. The effects of different regimes of a pulsed linear electron accelerator on the microorganisms that contaminate spices. In: *Radiation technologies in agriculture and food industry: Current state and prospects: conference proceedings*. Obninsk; 2018, p.100–103. (In Russ.).

Пименов Е.П., Павлов А.Н., Васильева Н.А., Морозова А.И. Действие разных режимов импульсного линейного ускорителя электронов на микроорганизмы, обсеменяющие специи // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сб. докл. межд. науч.-практ. конф., Обнинск, 26–28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018 г. С. 100–103.

14. Zabayev VN. *Primenenie uskoritelei v nauke i promyshlennosti* [Application of accelerators in science and industry]. Tomsk; 2008. (In Russ.).
- Забаяев В.Н. Применение ускорителей в науке и промышленности. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 195 с.
15. Chernyaev AP. *Uskoriteli v sovremennom mire* [Accelerators in the world today]. Moscow; 2012. (In Russ.).
Черняев А.П. Ускорители в современном мире. М.: Изд-во МГУ, 2012. 368 с.
16. Alimov AS. *Prakticheskoe primeneniye elektronnykh uskoriteley* [Practical applications of electronic accelerators]. Preprint MSU SINP № 2011–13/877. (In Russ.).
Алимов А.С. Практическое применение электронных ускорителей // Препринт НИИЯФ МГУ. 2011. Т. 13. № 877. С. 1–40.
17. Scharf W, Wieszczycka W. Particle accelerators for industrial processing (Part 1). *Maintenance and Reliability*. 2001;(2–3):10–25.
18. Hayashi T. Decontamination of dry food ingredients and seeds with «soft-electrons» (low-energy electrons). *Food Sci Technol Int Tokyo*. 1998;4(2):114–120. doi: 10.3136/fsti9596t9798.4.114
19. Hayashi T, Takahashi Y, Todoriki S. Sterilization of foods with low-energy electrons («soft-electrons»). *Radiat Phys Chem*. 1998;52(1–6):73–76. doi: 10.3136/fsti9596t9798.4.114
20. Imamura T, Todoriki S, Sota N, Nakakita H, Ikenaga H, Hayashi T. Effect of “soft-electron” (low-energy electron) treatment on three stored-product insect pests. *J Stored Prod Res*. 2004;40(2):169–177. doi: 10.1016/S0022-474X(02)00095-4
21. Kikuchi OK, Todoriki S, Saito M, Hayashi T. Efficacy of soft-electron (low-energy electron beam) for soybean decontamination in comparison with gamma-rays. *J Food Sci*. 2003;68(2):649–652. doi: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05725.x
22. Hayashi T, Todoriki S. Low energy electron irradiation of food for microbial control. In: *Irradiation for Food Safety and Quality*. Vienna; 2001. p.118–128.
23. Mehnert R, Klenert P, Prager L. Low-energy electron accelerators for industrial radiation processing. *Radiat Phys Chem*. 1993;42(1–3):525–529. doi: 10.1016/0969-806X(93)90302-B
24. Baba T, Kaneko H, Taniguchi S. Soft electron processor for surface sterilization of food material. *Radiat Phys Chem*. 2004;71(1–2):209–211. doi: 10.1016/j.radphyschem.2004.03.079
25. Imamura T, Miyanoshta A, Todoriki S, Hayashi T. Usability of a soft-electron (low-energy electron) machine for disinfestation of grains contaminated with insect pests. *Radiat Phys Chem*. 2004;71(1–2):213–215. doi: 10.1016/j.radphyschem.2004.03.080
26. Imamura T, Todoriki S, Miyanoshta A, Horigane AK, Yoshida M, Hayashi T. Efficacy of soft-electron (low-energy electron) treatment for disinfestation of brown rice containing different ages of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. *Radiat Phys Chem*. 2009;78(7–8):627–630. doi: 10.1016/j.radphyschem.2009.03.058
27. Rami Reddy PV, Todoriki S, Miyanoshta A, Imamura T, Hayashi T. Effect of soft electron treatment on adzuki bean weevil, *Callosobruchus chinensis* (L.) (Col., Bruchidae). *J Appl Entomol*. 2006;130(6–7):393–399.
28. Cutrubinis M, Delincee H, Stahl M, Roder O, Schaller HJ. Erste ergebnisse zum nachweis einerelektronenbehandlung von mais zur beizung bzw. entkeimung und entwesung. *Gesunde Pflanzen*. 2005;57(5):129–136. doi: 10.1007/s10343-005-0074-y
29. Cutrubinis M, Delincee H, Stahl M, Roder O, Schaller HJ. Detection methods for cereal grains treated with low and high energy electrons. *Radiat Phys Chem*. 2005;72(5):639–644. doi: 10.1016/j.radphyschem.2004.03.089
30. EVONTA — Service Gmb H. Available at: www.evonta.de (Accessed 07.11.2019).
31. Hayashi T, Okadome H, Toyoshima H, Todoriki S, Ohtsubo K. Rheological properties and lipid oxidation of rice decontaminated with low-energy electrons. *J Food Prot*. 1998;61(1):73–77. doi: 10.4315/0362-028X-61.1.73
32. Todoriki S, Hayashi T. Disinfection of seeds and sprout inhibition of potatoes with low energy electrons. *Radiat Phys Chem*. 2000;57(3–6):253–255. doi: 10.1016/S0969-806X(99)00389-8
33. Hayashi T, Takahashi Y, Todoriki S. Low-energy electron effects on the sterility and viscosity of grains. *J Food Sci*. 2006;62(4):858–860. doi: 10.1111/j.1365-2621.1997.tb15472.x
34. Isemberlinova AA, Poloskov AV, Egorov IS, Kurilova AA, Nuzhnyh SA, Remnev GE. Influence of a pulsed electron beam on the sowing quality of wheat. *Key Eng Mater*. 2018;769:172–180. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.769.172
35. Loy NN, Sanzharova NI, Gulina SN, Suslova OV, Chizh TV, Vorobyov MS, et al. Evaluation of the effect of pre-sowing electron irradiation of barley seeds on plant development and disease incidence. *J Phys Conf Ser*. 2021;2064012101. doi: 10.1088/1742-6596/2064/1/012101
36. Loy NN, Sanzharova NI, Gulina SN, Vorobyov MS, Koval NN, Doroshkevich SY, et al. Influence of electronic irradiation on the affection of barley by root rot. *J Phys Conf Ser*. 2019;1393012107.

37. Doroshkevich SY, Artyomov KP, Tereshchenko NN, Zyubanova TI, Vorobyov MS, Akimova EE, et al. Presowing treatment of spring wheat seeds by a pulsed electron beam in the atmosphere. *High Energy Chemistry*. 2021;55(4):326–332. (In Russ.). doi: 10.31857/S0023119321040069

Дорошкевич С.Ю., Артёмов К.П., Терещенко Н.Н., Зюбанова Т.И., Воробьев М.С., Акимова Е.Е., Минаева О.М., Покровская Е.А., Шин В.И., Торба М.С., Леванисов В.А. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы импульсным электронным пучком в атмосфере // Химия высоких энергий. 2021. Т. 55. № 4. С. 326–332. doi: 10.31857/S0023119321040069

38. Loy NN, Sanzharova NI, Gulina SN, Suslova OV. Influence of electronic radiation on radio resistance of phytopathogenic microflora of cucumber. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka*. 2021;(4):47–50. (In Russ.). doi: 10.31857/S2500262721040104

Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н., Сулова О.В. Влияние электронного излучения на радиорезистентность фитопатогенной микрофлоры огурца // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 47–50. doi: 10.31857/S2500262721040104

39. Loy NN, Sanzharova NI, Gulina SN, Vorobev MS. Influence of electronic radiation of seeds of grain crops on their resistance to damage of root rot. In: Nuclear and physical technologies in agriculture and food industry: conference proceedings. 2020. p.346–350. (In Russ.).

Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Сулова О.В., Гулина С.Н., Воробьев М.С. Влияние электронного облучения семян зерновых культур на их устойчивость к поражению корневой гнилью // Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве (к 50-летию со дня образования ФГБНУ ВНИИ радиологии и агроэкологии): сборник докладов междунар. науч.-практ. конф. Обнинск, 2020. С. 346–350.

40. Todoriki S, Kikuchi OK, Nakaoka M, Miike M, Hayashi T. Soft electron (low energy electron) processing of foods for microbial control. *Radiat Phys Chem*. 2002;63(3–6):349–351. doi: 10.1016/S0969-806X(01)00588-6

41. Aisala H, Nygren H, Seppänen-Laakso T, Heiniö RL, Kießling M, Aganovic K, et al. Comparison of low energy and high energy electron beam treatments on sensory and chemical properties of seeds. *Int Food Res J*. 2021;148:110575. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110575

42. Markova YA, Alekseenko AL, Kramarskiy AV, Savilov ED. Plants as an element of environmental chain circulation of pathogenic for human bacteria. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2012;114(7):11–14. (In Russ.).

Маркова Ю.А., Алексеев А.Л., Крамарский А.В., Савилов Е.Д. Растения как одно из звеньев цепи циркуляции патогенных для человека бактерий в окружающей среде // Сибирский медицинский журнал. 2012. Т. 114. № 7. С. 11–14.

43. Fan X, Sokorai K, Weidauer A, Gotzmann G, Rogner FH, Koch E. Comparison of gamma and electron beam irradiation in reducing populations of *E. coli* artificially inoculated on mung bean, clover and fenugreek seeds, and affecting germination and growth of seeds. *Radiat Phys Chem*. 2017;130:306–315. doi: 10.1016/j.radphyschem.2016.09.015

About authors:

Tkhorik Oksana Vladimirovna — Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», 1/1 Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249035, Russian Federation; e-mail: oxana.tkhorik@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5213-2150

Kharlamov Vladimir Aleksandrovich — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», 1/1 Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249035, Russian Federation; e-mail: kharlamof@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3479-1800

Polyakova Irina Vladimirovna — Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», 1/1 Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249035, Russian Federation; e-mail: irinaamchenkina@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1602-7921

Loy Nadezhda Nikolaevna — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», 1/1 Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249035, Russian Federation; e-mail: loy.nad@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9984-0883

Pomyasova Maria Gennadievna — Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», 1/1 Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249035, Russian Federation; e-mail: mariya-zelenetskaya@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3922-1567

Shishko Valentin Igorevich — Researcher, Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre «Kurchatov Institute», 1/1 Kievskoe shosse, Obninsk, Kaluga region, 249035, Russian Federation; e-mail: valentine585@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0526-0579

Мировой опыт применения облучения низкоэнергетическими электронами в сельском хозяйстве

О.В. Тхорик , В.А. Харламов ✉, И.В. Полякова ,
Н.Н. Лой , М.Г. Помясова , В.И. Шишко 

Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», г. Обнинск,
Российская Федерация
✉ kharlamof@gmail.com

Аннотация. По данным многолетних наблюдений ФАО, потери сельхозпродукции растительного происхождения оценивают от 10 до 30 %. Основными причинами этих потерь являются фитопатогены, микроорганизмы порчи и насекомые-вредители. Рассматриваются проблемы обеспечения фитосанитарной безопасности сельскохозяйственной продукции и предлагается использование радиационной технологии вместо обработки химическими реагентами. Радиационные технологии имеют давнюю историю изучения и применения, делящуюся уже более 75 лет. Наиболее масштабные и подробные данные применения технологии получены для гамма-установок, в которых используются естественные радиоактивные изотопы. Ускорители электронов с низкой энергией (ниже 300 кэВ) изобрели относительно недавно, поэтому вопрос их применения в сельском хозяйстве актуален. Обработка низкоэнергетическим электронным излучением сочетает в себе все преимущества радиационной обработки пищевых и сельскохозяйственных продуктов гамма-излучением, и в то же время, за счет малой проникающей способности излучения, значительно снижает риск повреждения биологических структур во внутреннем объеме облучаемого объекта. В данной работе отмечено, что низкоэнергетические ускорители электронов могут быть успешно использованы для борьбы с инфекционными болезнями растений, снижая количество фитопатогенов на семенах. При этом нарушение ростовых параметров семян не наблюдается. Также рассмотрено использование облучения низкоэнергетическими электронами для предотвращения микробиологической порчи. Пищевые качества облученных продуктов существенно не меняются. Метод радиационной дезинсекции (борьбы с насекомыми-вредителями) низкоэнергетическим электронным излучением также показал свою эффективность. Однако, стоит отметить, что необходимы дополнительные исследования, чтобы определить оптимальные дозы облучения низкоэнергетическим излучением для каждого вида продукции и обеспечить безопасность для здоровья человека и окружающей среды. В целом, использование радиационной технологии в сельском хозяйстве имеет большой потенциал и может стать эффективным способом повышения производительности и безопасности пищевых продуктов. Данный метод обработки продуктов питания признан безопасным для здоровья человека рядом авторитетных международных организаций: ООН (ФАО), ВОЗ, МАГАТЭ и др.

Ключевые слова: облучение пищевых продуктов, радиочувствительность, микробиологическая безопасность, сельскохозяйственные культуры, фитосанитарная безопасность, насекомые-вредители, посевные качества семян, качество пищевых продуктов, срок годности

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

История статьи: поступила в редакцию 20 марта 2023 г., принята к публикации 7 сентября 2023 г.

Для цитирования: *Tkhorik O.V., Kharlamov V.A., Polyakova I.V., Loy N.N., Pomyasova M.G., Shishko V.I.* World experience in the application of low-energy electron irradiation in agriculture // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 541—553. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-541-553

Об авторах:

Тхорик Оксана Владимировна — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 249035, Калужская область, г.о. Обнинск, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1; e-mail: oxana.tkhorik@gmail.com
ORCID: 0000-0001-5213-2150

Харламов Владимир Александрович — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 249035, Калужская область, г. о. Обнинск, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1; e-mail: kharlamof@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3479-1800

Полякова Ирина Владимировна — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 249035, Калужская область, г.о. Обнинск, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1; e-mail: irinaamchenkina@mail.ru
ORCID: 0000-0003-1602-7921

Лой Надежда Николаевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 249035, Калужская область, г.о. Обнинск, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1; e-mail: loy.nad@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-9984-0883

Помясова Мария Геннадьевна — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 249035, Калужская область, г.о. Обнинск, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1; e-mail: mariya-zelenetskaya@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3922-1567

Шишко Валентин Игоревич — научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 249035, Калужская область, г.о. Обнинск, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, к. 1; e-mail: valentine585@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0526-0579



Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-554-565

EDN: MOIZVK

УДК 631.67:633.11

Научная статья / Research article

Влияние прецизионного орошения на водный режим и продуктивность озимой пшеницы

А.Н. Бабичев , Д.П. Сидаренко  

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, г. Новочеркасск,
Российская Федерация
 sidarenko1@mail.ru

Аннотация. Цель исследования — установление влияния прецизионного орошения при различной обеспеченности минеральными удобрениями на продуктивность озимой пшеницы. Исследования проводили на орошаемой пашне в Ростовской области. Схема опыта включает 3 повторности. Климат района проведения исследований — засушливый, но недостаточно жаркий. Сумма температур за период вегетации сельскохозяйственных культур колеблется в пределах 3000...3200 °С, среднеголетняя сумма осадков за год — 470 мм, за вегетационный период выпадает 285 мм. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом обыкновенным. По гранулометрическому составу почвы по всему профилю представлены в основном суглинками тяжелыми, на глубине 130–160 см переходящими в суглинок средний. Структурное состояние при сухом просеивании и водопрочность агрегатов характеризуются как отличные. Наименьшая влагоемкость почвы для 0–60-сантиметрового слоя составляет 28,3 %, согласно существующей классификации, она хорошая. Плотность почвы в слое 0,6 м составляет 1,27 т/м³, а в метровом слое — 1,33 т/м³. Дифференцированные дозы удобрений на фоне технологий орошения, изучаемых по вариантам опыта, оказали существенное влияние на продуктивность озимой пшеницы. Так

© Бабичев А.Н., Сидаренко Д.П., 2023



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

на вариантах опыта без орошения коэффициент водопотребления озимой пшеницы составил по годам исследования от 890,8 до 1343,6 м³/т, применение рекомендуемой системы орошения позволило сократить его величину до 725,9...1327,3 м³/т, а технология прецизионного орошения — до 883,1 м³/га до 681,6...1147,6 м³/т. Выявлено преимущество прецизионной технологии орошения и внесения минеральных удобрений, применение которой в различные по метеорологическим показателям годы обеспечило получение урожая озимой в сравнении с рекомендуемой технологией выше в среднем на 0,55 т/га, а в сравнении с вариантами без орошения — на 3,49 т/га. Внедрение современных высокоточных технологий орошения повысит конкурентоспособность сельскохозяйственной продукции, получаемой на орошаемых землях.

Ключевые слова: водопотребление, сельскохозяйственная культура, минеральные удобрения, урожайность, Ростовская область

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

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания Минсельхоза России на 2019–2020 гг. ФГБНУ «РосНИИПМ».

История статьи: поступила в редакцию 26 марта 2021 г., принята к публикации 23 августа 2023 г.

Для цитирования: *Бабичев А.Н., Сидаренко Д.П.* Влияние прецизионного орошения на водный режим и продуктивность озимой пшеницы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 554—565. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-554-565

Effects of precision irrigation on water regime and productivity of winter wheat

Alexander N. Babichev , Dmitry P. Sidarenko  

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, *Novocherkassk, Russian Federation*
 sidarenko1@mail.ru

Abstract. The aim of the research was to establish the effect of precision irrigation with varying mineral fertilizer availability on winter wheat productivity. Studies were carried out on irrigated arable land in the Rostov region. The test scheme included 3 replications. The climate of the research area is arid but not hot enough. The sum of temperatures for growing period is in the range of 3000...3200 °C, the average annual precipitation is 470 mm, for the growing period — 285 mm. The soil cover of the experimental site is chernozem. According to the granulometric composition of the soil, the entire profile is represented mainly by heavy loam, turning into medium loam at a depth of 130–160 cm. The structural state in dry sieving and the water resistance of the aggregates are characterized as excellent. The lowest water-holding capacity for 0–60-centimeter layer is 28.3 %, which is good according to the existing classification. Soil density in 0.6 m layer is 1.27 t/m³, and in 1.0 m layer — 1.33 t/m³. Differentiated doses of fertilizers against the background of irrigation technologies studied in variants had a significant impact on productivity of winter wheat. Thus, in the variants with no irrigation, water consumption coefficient of winter wheat was 890.8 to 1343.6 м³/т; using the recommended irrigation system reduced its value to 725.9...1327.3 м³/т, and the precision irrigation technology provided a reduction in the value of water consumption coefficient to 681.6...1147.6 м³/т. The conducted studies revealed advantage of precision irrigation technology and mineral fertilizers, the use of which in different years provided higher winter crop yield by an average of 0.55 t/ha in comparison with the recommended technology, and, in comparison with variants

without irrigation — by 3.49 t/ha. The introduction of modern high-precision irrigation technologies will make agricultural products produced on irrigated land more competitive.

Keywords: water consumption, crop, mineral fertilizers, yield, Rostov region

Conflicts of interest: The authors declared no conflicts of interest.

Funding. The work was performed on a government assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation for 2019–2020 by Russian Research Institute of Land Improvement Problems.

Article history: Received: 26 March 2021. Accepted: 23 August 2023.

For citation: Babichev AN, Sidarenko DP. Effects of precision irrigation on water regime and productivity of winter wheat. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):554–565. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-554-565

Введение

За несколько последних десятилетий в Ростовской области сформировалась тенденция, которая имеет направленность к изменению природно-климатических условий в направлении аридизации, что делает крайне затруднительным возделывание основных сельскохозяйственных культур. Озимая пшеница одна из основных зерновых культур, которые возделываются на юге России, в частности в Ростовской области. Как известно, озимая пшеница эффективно использует осадки, выпадающие осенью и весной, и практически не реагирует на летние засухи, в отличие от яровых культур.

Ранее планировалось, что период до 2020 г. площадь занятая озимыми культурами в Ростовской области, возрастет до 2,5 млн га, при этом на долю озимой пшеницы будет приходиться около 96 % площади, занятой озимыми культурами. Значительная часть пахотных земель на юге Российской Федерации располагается в зоне недостаточного увлажнения, т.е. возделывание на вышеуказанных землях основных сельскохозяйственных культур и получение стабильных урожаев возможно при условии применения орошения. Существующие способы орошения зачастую не отвечают экономическим и экологическим требованиям, которые сложились в последнее время в сельхозтоваропроизводстве, что делает продукцию, получаемую на орошаемых землях, мало конкурентоспособной и мешает восстановлению ранее применяемых оросительных систем [1–3].

В этих условиях совершенствование приемов возделывания сельскохозяйственных культур, в частности озимой пшеницы, должно основываться на рациональном использовании водных, минеральных, энергетических и материальных ресурсов, в связи с чем актуальной становится разработка водосберегающих технологий орошения¹ [4–8].

Цель исследования — установить влияние на продуктивность озимой пшеницы прецизионного орошения при различной обеспеченности минеральными удобрениями.

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на орошаемой пашне в Ростовской области. Климат района проведения исследований характеризуется, как засушливый и вместе с тем недостаточно жаркий. Сумма температур за период вегетации сельскохозяйственных культур колеблется в пределах 3000...3200 °С, среднемноголетняя сумма осадков за год — 470 мм, за вегетационный период — 285 мм, Почвенный покров опытного участка представлен черноземом обыкновенным среднесиловым низкогумусным на лессовидном суглинке. Содержание гумуса в пахотном слое (0–30 см) составляет в среднем 3,7 %, мощность гумусового горизонта — до 65 см. По гранулометрическому составу почвы по всему профилю представлены в основном суглинками тяжелыми Ст, на глубине 130–160 см переходящие в суглинок средний Сср. Структурное состояние при сухом просеивании и водопрочность агрегатов характеризуются как отличные.

Схема опыта включает 3 повторности. Опыт многофакторный. В опыте изучались различные технологии орошения и минерального питания озимой пшеницы.

Технологии орошения:

- 1) без орошения;
- 2) рекомендованная зональными системами земледелия;
- 3) прецизионная технология.

Поливы по рассматриваемым вариантам опыта проводились в одни и те же сроки, поливными нормами 400 м³/га (по рекомендациям зональных систем земледелия (ЗСЗ)) и 388 м³/га (прецизионная технология). Оросительная норма по ЗСЗ изменялась от 2000 м³/га (5 поливов) в более влажном 2019 г. до 2800 м³/га (7 поливов) в более засушливом 2020 г. По прецизионной технологии соответственно 1552...2366 м³/га. Критерием для назначения полива служил порог 80 % наименьшей влагоемкости в слое почвы 0,6 м.

Под озимую пшеницу удобрения вносились по следующей схеме:

- 1) без удобрений;
- 2) N₁₈₀ P₆₅ K₄₀ (рекомендованная ЗСЗ);
- 3) N₁₆₀ P₆₅ K₄₀ (прецизионное внесение).

Азотные удобрения вносились в подкормку в виде аммиачной селитры (34,5 %) в фазу кущения и выхода в трубку. Фосфорные и калийные удобрения вносились под основную обработку. Дифференцированные дозы удобрений при прецизионной технологии рассчитывали на основе данных листовой диагностики и вносили с использованием портативных N-сенсоров, установленных на подкормочных агрегатах.

Общая площадь делянки — 92 м², учетная площадь — 50 м². Учет урожайности озимой пшеницы осуществлялся по методике полевого опыта, обработка полученных результатов проводилась по установленной в математической статистике методике¹.

Применение прецизионных (точных) технологий орошения — это стратегическое будущее конкурентоспособного орошаемого сектора сельского хозяйства России. Дождевальные машины для этих технологий должны обеспечивать точное

управление продукционными процессами орошения сельскохозяйственных культур. Как правило, они должны реализовать самоконтроль качества выполняемых технологических операций в увязке с изменяющимися природно-климатическими условиями [9–11].

Алгоритм функционирования системы управления такой дождевальнoй машины выглядит следующим образом. Гиперспектральная камера осуществляет съемку растительности в заданном секторе по мере перемещения дождевальнoй машины. Затем получаемые данные в процессе съемки обрабатываются в режиме онлайн, для чего осуществляется сборка гиперспектральных изображений, по которым определяются вегетационные индексы, полученные изображения разбиваются на участки, за полив которых ответственны отдельно взятые дождеватели, оснащенные управляемыми электромагнитными клапанами.

Учитывая индивидуальные особенности растений на разных почвах и в разных климатических условиях, совершенно ясно, что никаких абсолютно точных показателей для определения влажности почвы получить нельзя. Предлагается метод, который позволит устанавливать, испытывают ли растения стресс от недостатка влажности или нет на каждом сегменте поля [12–15].

Данные о влажности растений по сегментам поля и позиционировании дождевальнoй машины на поле, полученные дистанционным зондированием с помощью гиперспектральной камеры, установленной на дождевальнoй машине, обрабатывает установленный на ней же процессор, что позволяет реализовать технологию прецизионного орошения, когда на каждый сегмент поля подается дозированный объем воды с расчетом выравнивания влажности почвы на всем поле при каждом поливе. Представленный метод дает возможность в режиме онлайн производить расчет вегетационных индексов, таких как NDVI и индекса влажности WBI [14, 15].

Результаты исследования и обсуждение

Погодные условия 2018–2019 сельскохозяйственного года можно охарактеризовать как благоприятные для возделывания озимой пшеницы, ее роста и развития. Средняя годовая температура воздуха была выше среднемноголетнего показателя на 0,3 °С, в период колошения — цветения озимой пшеницы средняя температура превышала многолетний показатель также на 0,3 °С (табл. 1). Средняя температура воздуха за период вегетации озимой пшеницы на 0,6 °С превышала среднемноголетнее значение. Среднегодовое количество осадков было значительно больше среднемноголетнего показателя, однако распределение их по году крайне неравномерное. Озимая пшеница положительно реагирует на посев в хорошо увлажненную почву и высокие запасы влаги в почве весной. Крайне требовательны зерновые культуры во влаге в почве в межфазном периоде выхода в трубку — колошения. В этот период выпало 93 мм осадков, что практически равно среднемноголетнему значению. Влажность воздуха в среднем за год была на 4 % ниже среднемноголетнего показателя. В этом году сложились достаточно хорошие условия для перезимовки озимой пшеницы — по мощности снежного покрова и температуре воздуха.

**Метеоданные по сельскохозяйственным годам проведения исследований
(по данным метеостанции г. Ростова-на-Дону*)**

Показатели	Годы исследований		Среднегодовое значение за период 2008–2019 гг.
	2018–2019	2019–2020	
Средняя температура воздуха, °С	11,3	11,8	11,0
Средняя температура воздуха за период вегетации озимой пшеницы, °С	19,1	16,7	18,5
Сумма осадков, мм	710	464	614
Количество осадков за вегетацию, мм	301	164	243
Средняя относительная влажность над поверхностью земли, %	68	65	72
Средняя температура воздуха зимы, °С	–0,7	2,1	–0,4
Мощность снежного покрова, см	7,7	4,5	4,5

* Метеоданные взяты с <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/34730.htm>

Table 1

**Weather data for agricultural years of research
(according to the weather station of Rostov-on-Don*)**

Indicators	Years		Average long-term data (for 2008–2019)
	2018–2019	2019–2020	
Average air temperature, °C	11.3	11.8	11.0
Average air temperature during winter wheat vegetation period, °C	19.1	16.7	18.5
Precipitation, mm	710	464	614
Precipitation per vegetation, mm	301	164	243
Average relative humidity at the surface, %	68	65	72
Average air temperature in winter, °C	–0.7	2.1	–0.4
Snow height, cm	7.7	4.5	4.5

*Meteorological data are from <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/34730.htm>

Погодные условия 2019–2020 сельскохозяйственного года (см. табл. 1) существенно отличались от предыдущего периода, их можно считать менее благоприятными. Так средняя годовая температура воздуха была выше среднегодового показателя на 0,8 °С, в период колошения цветения озимой пшеницы средняя температура превышала многолетний показатель на 0,3 °С. За период вегетации озимой пшеницы средняя температура воздуха была на 1,8 °С ниже среднегодового значения. Среднегодовое количество осадков в 1,3 раза меньше сред-

немноголетнего показателя, и распределение их по году крайне неравномерное. В период выход в трубку — колошение сумма выпавших осадков была на 7 мм ниже среднеемноголетнего значения. Влажность воздуха в среднем за год была на 7 % ниже среднего показателя, зимой мощность снежного покрова была ниже, чем в предшествующий сельскохозяйственный год, а температура воздуха выше.

Наиболее критическим, влияющим на качество зерна периодом для озимой пшеницы считается период цветения — молочно-восковой спелости. Критические периоды по срокам их наступления могут зависеть от целого ряда факторов: почвенно-климатических условий, запасов влаги, содержания питательных элементов, сорта, сроков сева, предшественника. Важно своевременно определить начало наступления критического периода с целью своевременной корректировки нормы орошения.

Зачастую складывается противоречивая обстановка, когда на одной опытной деланке растения развиваются крайне неравномерно: те, что находятся в массиве, более медленно созревают, чем те, которые располагаются по краям опытной деланки. Наступление каждой фазы устанавливают глазомерно по внешним морфологическим признакам растения, характеризующим количественные и качественные изменения, происходящие в живом организме.

По годам проведения исследований существенно различалась сумма осадков за вегетацию озимой пшеницы. В 2019 г. этот показатель был выше среднеемноголетнего в 1,2 раза, а в 2020 г. наоборот, за вегетацию осадков выпало в 1,5 раза меньше среднеемноголетнего значения. Мы исследовали режимы орошения озимой пшеницы на вариантах опыта, в которых озимая пшеница возделывалась без орошения и удобрения, т.е. заведомо закладывался дефицит влаги и питательных веществ, а также вариантах, в которых эти лимитирующие факторы имели оптимальные показатели. Получили данные по урожайности озимой пшеницы, предшественником которой по годам проведения исследований являлся лук, возделываемый на репку (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность озимой пшеницы по различным вариантам опыта по непаровому предшественнику

Вариант	2019 г.		2020 г.	
	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га
Без орошения				
Без удобрений	3265	2,43	2742	2,39
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	3422	3,56	3241	3,50
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	3509	3,84	3305	3,71
80 % НВ в слое 0,6 м (рекомендованный ЗСЗ)				
Без удобрений	5681	4,28	4682	4,10
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	6098	6,80	5205	6,53
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	6130	7,90	5430	7,48

Вариант	2019 г.		2020 г.	
	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га	Суммарное водопотребление, м ³ /га	Урожайность, т/га
Прецизионное орошение				
Без удобрений	5543	4,83	4987	4,34
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	5964	7,20	5743	7,06
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	5896	8,69	5623	8,25
HCP ₀₅	0,79		0,84	

Table 2

Yield of winter wheat after non-fallow forecrop

Variant	2019		2020	
	Total water consumption, м ³ /ha	Yield, t/ha	Total water consumption, м ³ /ha	Yield t/ha
No irrigation				
No fertilizer	3265	2.43	2742	2.39
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (recommended by CCP)	3422	3.56	3241	3.50
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (precision application)	3509	3.84	3305	3.71
80 % FC in 0.6 m layer (recommended by CCP)				
No fertilizer	5681	4.28	4682	4.10
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (recommended by CCP)	6098	6.80	5205	6.53
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (precision application)	6130	7.90	5430	7.48
Precision irrigation				
No fertilizer	5543	4.83	4987	4.34
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (recommended by CCP)	5964	7.20	5743	7.06
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (precision application)	5896	8.69	5623	8.25
LSD ₀₅	0.79		0.84	

Согласно табл. 2, среднее суммарное водопотребление по различным технологиям орошения и внесения минеральных удобрений на озимой пшенице по годам исследования составило 4804 м³/га.

На вариантах опыта без орошения данный показатель был на 1556 м³/га меньше, при чем разница по годам исследования имеет более существенные различия.

На вариантах опыта, где применялась рекомендованная ЗСЗ, показатель суммарного водопотребления был на 734 м³/га выше среднего значения, а на варианте с прецизионной технологией орошения данный показатель превышал среднее значение по годам исследования и был на 822 м³/га выше среднего значения.

Как известно, озимая пшеница, ввиду особенностей своей вегетации, не способна в значительной степени поглощать почвенные запасы влаги зимой. Она дает дружные всходы при посеве в хорошо увлажненную почву и прекрасно развивается при наличии избыточной влаги весной. В течение весенне-летней вегетации в результате суммарного испарения происходит резкое снижение запасов влаги в почве, а их наличие в избыточном количестве в период налива и созревания зерна крайне негативно могут сказаться на количественных и качественных характеристиках полученного зерна.

Наиболее наглядно использование оросительной воды, атмосферных осадков на формирование 1 т товарной продукции отображает коэффициент водопотребления сельскохозяйственной культуры (табл. 3).

Таблица 3

Коэффициент водопотребления озимой пшеницы в зависимости от технологии орошения и внесения минеральных удобрений

Вариант	2019		2020	
	Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т	Урожайность, т/га
Без орошения				
Без удобрений	1343,6	2,43	1147,3	2,39
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	961,2	3,56	926,0	3,50
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	913,8	3,84	890,8	3,71
80% НВ в слое 0,6 м (рекомендованный ЗСЗ)				
Без удобрений	1327,3	4,28	1142,0	4,10
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	896,8	6,80	797,1	6,53
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	775,9	7,90	725,9	7,48
Прецизионное орошение				
Без удобрений	1147,6	4,83	1149,1	4,34
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (рекомендованная ЗСЗ)	828,3	7,20	813,5	7,06
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (прецизионное внесение)	678,5	8,69	681,6	8,25

Water consumption rate of winter wheat depending on irrigation technology and fertilizer application

Variant	2019		2020	
	Water consumption factor, m ³ /t	Yield, t/ha	Water consumption factor, m ³ /t	Yield, t/ha
No irrigation				
No fertilizer	1343.6	2.43	1147.3	2.39
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (recommended by CCP)	961.2	3.56	926.0	3.50
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (precision application)	913.8	3.84	890.8	3.71
80% FC in 0.6 m layer (recommended by CCP)				
No fertilizer	1327.3	4.28	1142.0	4.10
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (recommended by CCP)	896.8	6.80	797.1	6.53
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (precision application)	775.9	7.90	725.9	7.48
Precision irrigation				
No fertilizer	1147.6	4.83	1149.1	4.34
N ₁₈₀ P ₆₅ K ₄₀ (recommended by CCP)	828.3	7.20	813.5	7.06
N ₁₆₀ P ₆₅ K ₄₀ (precision application)	678.5	8.69	681.6	8.25

Так на вариантах опыта без орошения коэффициент водопотребления озимой пшеницы составил по годам исследования от 890,8 до 1343,6 м³/т, применение рекомендуемой системы орошения позволило сократить его величину до 725,9...1327,3 м³/т. А технология прецизионного орошения обеспечила сокращение значения коэффициента водопотребления до 681,6...1147,6 м³/т. Т.е. вариант опыта с прецизионной технологией орошения и внесения минеральных удобрений обеспечил самое низкое суммарное водопотребление озимой пшеницы и минимальный коэффициент водопотребления из полученных за годы проведения исследований, а также на этих вариантах опыта отмечена максимальная урожайность озимой пшеницы.

Заключение

Проведенные исследования выявили преимущество прецизионной технологии орошения и внесения минеральных удобрений, применение которой в различные по метеорологическим показателям годы обеспечило получение урожая озимой пшеницы в сравнении с рекомендуемой технологией в среднем выше на 0,55 т/га, а в сравнении с вариантами без орошения — на 3,49 т/га.

Внедрение современных высокоточных технологий орошения может сделать сельскохозяйственную продукцию, получаемую на орошаемых землях, более кон-

курентоспособной. Это в свою очередь послужит хорошим импульсом для развития мелиорации в районах, где наблюдается дефицит осадков и доступных водных ресурсов.

Список литературы

1. Щедрин В.Н., Васильев С.М. Концептуально-методологические принципы (основы) развития мелиорации как национального достояния России // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2019. № 1 (33). С. 1–11. doi: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11
2. Михеев П.А. Мелиорация — с уверенностью в будущее (к 110-летию мелиоративного образования на Юге России) // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 5. С. 36–38.
3. Васильев С.М., Домашенко Ю.Е. Регулирование управленческих процессов в структурированных проблемных ситуациях АПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 4. С. 12–13. doi: 10.30850/vrnsn/2022/1/42-46
4. Бородычев В.В., Лытов М.Н. Технологические функции технической системы для регулирования гидротермического режима агрофитоценоза и комплексной протекции посевов от климатических рисков // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 2 (58). С. 307–319. doi: 10.32786/2071-9485-2020-02-30
5. Бабичев А.Н., Ольгаренко В. Иг., Монастырский В.А., Сидаренко Д.П. Опыт применения технологии прецизионного орошения в Ростовской области // Технология и технические средства механизации производства продукции растениеводства. 2019. № 4 (101). С. 75–86. doi: 10.24411/0131-5226-2019-10214
6. Шевченко П.Д., Дробилко А.Д. Эффективные севообороты и структуры посева в них при орошении // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2008. № 35. С. 120–130.
7. Булахтина Г.К., Кудряшов А.В., Кудряшова Н.И. Влияние различных способов посева и орошения на продуктивность мятликово-бобовых травосмесей при многоукосном использовании // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14. № 2. С. 123–132. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-2-123-132
8. Васильченко А.П. Ресурсосберегающие приемы возделывания озимой пшеницы на орошаемых землях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 3(53). С. 29–32.
9. Васильев С.М., Митяева Л.А. Мониторинг орошаемого агроландшафта с учетом калибровки данных дистанционного зондирования в рамках геоинформационных технологий // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 131. С. 216–231. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2017/07/pdf/23.pdf>
10. Щедрин В.Н., Васильев С.М., Чураев А.А., Снитич Ю.Ф., Куприянов А.А., Завалюев В.Э. Пат. 2631896 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/09. Многоопорная дождевальная машина для прецизионного орошения / заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. № 2016104019; заявл. 08.02.16; опубл. 28.09.17. Бюл. № 28. 9 с.
11. Щедрин В.Н., Васильев С.М., Чураев А.А. Оптимизация состава приборного обеспечения контроля агрометеопараметров как этап разработки технологии прецизионного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 3(23). С. 1–18.
12. Балакай Г.Т., Васильев С.М., Бабичев А.Н. Концепция дождевальной машины нового поколения для технологии прецизионного орошения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2017. № 2(26). С. 1–18.
13. Корсак В.В., Пронько Н.А., Насыров Н.Н. Применение ГИС-анализа для оценки природных условий поливного // Научная жизнь. 2014. № 2. С. 18–24.
14. Снитич Ю.Ф., Бабичев А.Н. Оценка эффективности низкоэнергоемких оросительных систем // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2014. № 55. С. 109–118.
15. Чураев А.А., Снитич Ю.Ф., Вайнберг М.В., Юченко Л.В. Многоопорная дождевальная машина для прецизионного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2018. № 1(69). С. 64–66.

References

1. Shchedrin VN, Vasilyev SM. Conceptual and methodological principles (basics) of development strategies for land reclamation as a national treasure of Russia. *Scientific journal of Russian Scientific Research Institute of land improvement problems*. 2019;(1):1–11. (In Russ.). doi: 10.31774/2222-1816-2019-1-1-11

2. Mikheev PA. Melioration — with confidence in the future (to the 110 anniversary of meliorative education in the South of Russia). *Melioration and water management*. 2017;(5):36–38. (In Russ.).
3. Vasiliev SM, Domashenko YE. Regulating managerial processes in structured problematic situations of AIC and autochthonal varieties of apple tree in Dagestan. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2016;(4):12–13. (In Russ.).
4. Borodychev VV, Lytov MN. Technological functions of a technical system for regulating the hydrothermal regime of agrophytocenosis and integrated crop protection from climatic risks. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2020;(2):307–319. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2020-02-30
5. Babichev AN, Olgarenko VI, Monastyrsky VA, Sidarenko DP. Experience in the application of precision irrigation technology in the Rostov region. *AgroEcoEngineering*. 2019;(4):75–86. (In Russ.). doi: 10.24411/0131-5226-2019-10214
6. Shevchenko PD, Drobilko AD. Effective crop rotations and structures of crop in them under irrigation. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2008;(35):120–130. (In Russ.).
7. Bulakhtina GK, Kudryashov AV, Kudryashova NI. Effect of sowing type and irrigation method on productivity of legume-bluegrass mixtures under multiple cutting. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019;14(2):123–132. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-2-123-132
8. Vasilchenko AP. Resource saving methods of winter wheat cultivation on irrigated lands. *Izvestia Orenburg state agrarian university*. 2015;(3):29–32. (In Russ.).
9. Vasiliev SM, Mityaeva LA. Irrigated agrolandscape monitoring taking into account remote sensing data calibration under geoinformation technologies. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;(131):216–231. (In Russ.).
10. Shchedrin VN, Vasiliev SM, Churaev AA, Snipich YF, Kupriyanov AA, Zavalyuev VE. *Mnogoopornaya dozhdeval'naya mashina dlya pretsizionnogo oroshiya* [Multi-support sprinkler machine for precision irrigation]. Patent RUS, no. 2631896, 2016. (In Russ.).
11. Shchedrin VN, Vasilyev SM, Churaev AA. Optimization of instrumentation structure of agrimeteorological parameters control as a stage of precision irrigation process development. *Scientific journal of Russian scientific research institute of land improvement problems*. 2016;(3):1–18. (In Russ.).
12. Balakay GT, Vasilyev SM, Babichev AN. The concept of new generation irrigation machines for precision irrigation technology. *Scientific journal of Russian scientific research institute of land improvement problems*. 2017;(2):1–18. (In Russ.).
13. Korsak VV, Pronko NA, Nasyrov NN. Usage of GIS-analysis for assessing the natural conditions of irrigated cropping. *Scientific life*. 2014;(2):18–24. (In Russ.).
14. Snipich YF, Babichev AN. Assessment of the efficiency of low-energy irrigation systems. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2014;(55):109–118. (In Russ.).
15. Churaev AA, Snipich YF, Vainberg MV, Yuchenko LV. Multitower sprinkling machine for precision irrigation. *Ways of increasing the efficiency of irrigated agriculture*. 2018;(1):64–66. (In Russ.).

Об авторах:

Бабичев Александр Николаевич — доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела сельскохозяйственной мелиорации, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, Баклановский проспект, д. 190; e-mail: babichevan2006@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1146-7530

Сидаренко Дмитрий Петрович — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник сектора агрофизики мелиорированных земель, Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Российская Федерация, 346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, Баклановский проспект, д. 190; e-mail: sidarenko1@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3273-6499

About authors:

Babichev Alexander Nikolaevich — Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agricultural Reclamation, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, 190 Baklanovsky ave., Rostov Region, Novocherkassk, 346421, Russian Federation; e-mail: babichevan2006@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1146-7530

Sidarenko Dmitry Petrovich — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Agrophysics Sector of Reclaimed lands, Russian Research Institute of Land Improvement Problems, 190 Baklanovsky ave., Rostov Region, Novocherkassk, 346421, Russian Federation; e-mail: sidarenko1@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3273-6499



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-566-579

EDN: MQNQAC

УДК 631.671:628.381.1

Научная статья / Research article

Повышение эффективности оросительных мелиораций в агроценозах картофеля и сои на основе применения иловых осадков

А.Е. Новиков^{1,2}  , А.А. Поддубский³ , А.А. Новиков¹ ,
Р.В. Збукарев¹ , Н.В. Богомолова³ 

¹ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград,
Российская Федерация

²Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская
Федерация

³Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 ae_novikov@mail.ru

Аннотация. Цель исследования состояла в оценке влияния доз внесения осадка сточных вод (ОСВ) на продуктивность использования оросительной воды агроценозами картофеля (Жуковский ранний) и сои (ВНИИОЗ 31), на их урожай, а также индекс загрязнения почвы и семенной продукции. Агрометеорологические условия периодов проведения вегетационных опытов характеризуются как сухие со значением гидротермического коэффициента не более 0,39. С учетом сложившихся климатических условий был составлен регламент поливов картофеля и сои. Установлено, что внесение ОСВ в дозах 20, 40 и 60 т/га по-разному повлияло на структуру суммарного водопотребления культур. В посадках картофеля оросительная норма изменялась от 2590 на контроле и до 1850 м³/га на варианте ОСВ₆₀, а в посевах сои на аналогичных вариантах — от 3700 до 2960 м³/га. При этом затраты оросительной воды на получение тонны урожая картофеля и сои на контроле составили соответственно 124,5 и 1298,2 м³/т против 118,3...72,8 и 1213,1...886,2 м³/т по вариантам ОСВ₂₀, ОСВ₄₀ и ОСВ₆₀, что соответствовало повышению продуктивности использования воды от 5,0 до 41,5 и от 6,6 до 31,7 %. Лабораторными исследованиями почвенных образцов пахотного слоя установлено, что индекс загрязнения применительно к тяжелым металлам Cd, Pb, Zn, Cu варьирует от 2,54 ед. на варианте ОСВ₂₀ до 4,04 ед. на варианте ОСВ₆₀, что свидетельствует об отсутствии загрязнения почвы. Оценка показателей клубней картофеля на содержание крахмала, сухого вещества, нитратов и тяжелых металлов демонстрирует достаточное высокое качество и приемлемый уровень загрязнения семенного материала.

© Новиков А.Е., Поддубский А.А., Новиков А.А., Збукарев Р.В., Богомолова Н.В., 2023



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

Ключевые слова: орошение, продуктивность оросительной воды, осадок сточных вод, индекс загрязнения почвы, урожайность, качество семенной продукции

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

Финансирование. Благодарности. Работа подготовлена в рамках выполнения государственного задания FNFR-2023–0001.

История статьи: поступила 2 ноября 2023 г., принята к публикации 23 ноября 2023 г.

Для цитирования: Новиков А.Е., Поддубский А.А., Новиков А.А., Збукарев Р.В., Богомолова Н.В. Повышение эффективности оросительных мелиораций в агроценозах картофеля и сои на основе применения иловых осадков // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 566—579. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-566-579

Increasing efficiency of irrigation reclamation in potato and soybean agrocenoses using sludge

Andrey E. Novikov^{1,2}  , Anton A. Poddubsky³ ,
Alexey A. Novikov¹ , Roman V. Zbukarev¹ , Natalya V. Bogomolova³ 

¹Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, Russian Federation

²Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

³RUDN University, Moscow, Russian Federation

 ae_novikov@vniioz.ru

Abstract. The purpose of the study was to assess effect of different doses of wastewater sludge on productivity of irrigation water use by agrocenoses of potatoes (Zhukovsky rannii) and soybeans (VNIIOZ 31), on their yield, as well as the index of soil contamination and seed production. Agrometeorological conditions of the periods of vegetation experiments are characterized as dry with hydrothermal coefficient value of no more than 0.39. Considering the current climatic conditions, regulations for watering potatoes and soybeans were drawn up. It was established that application of WWS in doses of 20, 40 and 60 t·ha⁻¹ had different effects on crops total water consumption. In potato crops, irrigation rate varied from 2590 m³·ha⁻¹ in the control to 1850 m³·ha⁻¹ in WWS₆₀ variant, and in soybean crops, it varied from 3700 in the control to 2960 m³·ha⁻¹ in WWS₆₀ variant. At the same time, amount of irrigation water to obtain a ton of potato and soybean yield in the control averaged 124.5 and 1298.2 m³·t⁻¹, respectively, against 118.3...72.8 and 1213.1...886.2 m³·t⁻¹ for variants WWS₂₀, WWS₄₀ and WWS₆₀, which corresponded to increase in water use productivity from 5.0 to 41.5 % and from 6.6 to 31.7 %, respectively. Laboratory studies of soil samples of the arable layer showed that pollution index in relation to heavy metals Cd, Pb, Zn, Cu varies from 2.54 in variant WWS₂₀ to 4.04 in variant WWS₆₀, which indicates the absence of soil contamination. Evaluation of potato tubers for values of starch, dry matter, nitrates and heavy metals demonstrates sufficiently high quality and acceptable level of contamination of the seeds.

Keywords: irrigation, irrigation water productivity, wastewater sludge, soil pollution index, yield, quality of seeds

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Funding. The work was prepared as part of the State order FNFR-2023–0001.

Article history: Received: 2 November 2023. Accepted: 23 November 2023.

For citation: Novikov AE, Poddubsky AA, Novikov AA, Zbukarev RV, Bogomolova NV. Increasing efficiency of irrigation reclamation in potato and soybean agrocenoses using sludge. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):566—579. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-566-579

Введение

Продовольственная безопасность остается одной из главных глобальных проблем человечества, требующей систематического поиска решений, что связано с флуктуациями климата, ростом численности населения Земли и дефицитом пресных водных ресурсов. По оценкам ФАО в 2022 г. в мире насчитывалось более 780 млн голодающих, и это на 19 % больше допандемийного 2019 г., при этом доступность пресной воды на душу населения сократилась более чем на 20 % [1, 2]. В этой связи сельское хозяйство для повышения производительности и обеспечения возросшей потребности в продовольствии должно стать более невосприимчивым к участвующим биофизическим и социально-экономическим стрессам. Проблема усугубляется еще и тем, что аграрное производство является крупнейшим водопользователем, на его долю приходится более 70 % глобального объема забираемой пресной воды. А так как 40 % мирового объема продовольствия производится на орошаемых землях, занимающих не более 19 % в структуре посевных площадей, продовольственная безопасность в различных вододефицитных регионах мира может быть достигнута за счет реализации передовых агротехник в сочетании с повышением продуктивности использования оросительной воды [3, 4].

Помимо традиционных методов повышения эффективности орошения за счет увеличения урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур и уменьшения эвапотранспирации, некоторое распространение в земледелии получило использование очищенных сточных вод [5–7] и иловых осадков [8–10] в качестве альтернатив поливной воде и удобрительно-мелиорирующим веществам соответственно. Однако широкое применение данных «продуктов» сдерживается наличием в них небезопасных биологических и химических компонентов, требующих нейтрализации. К примеру, в России применение осадков сточных вод (ОСВ) в качестве удобрений не превышает 7 % от производимого объема (около 13 млн т при влажности 75 %, или 2,5 млн т в пересчете на сухое вещество) [11, 12]. Тем не менее уже имеются технологии, обеспечивающие получение стабилизированного ОСВ, обладающего влагосорбирующими и водоудерживающими свойствами за счет рыхлой и шероховатой пористой структуры с размером частиц от 0,1 до 500 мкм [13, 14]. Для разработки практических рекомендаций по применению ОСВ в условиях орошения, в т. ч. в целях оптимизации процессов эвапотранспирации и регламента поливов культур, необходимо проведение комплексной оценки эффективности и экологичности действия ОСВ на компоненты агроценозов.

Цель исследования — оценка влияния доз внесения ОСВ на продуктивность использования оросительной воды в агроценозах картофеля и сои, на их урожай, а также индекс загрязнения почвы и семенной продукции.

Материалы и методы исследования

Опыты с картофелем (Жуковский ранний) и соей (ВНИИОЗ 31) при их ротации проводили в условиях Нижнего Поволжья на экспериментальном стационаре ВНИИОЗ по методикам Б.А. Доспехова¹ и В.Н. Плешакова². Варианты размещали систематически в 3-кратной повторности (рис. 1). Площадь деланки составляла 140 м² (2,8 × 50), учетной 56 м² (1,4 × 40). ОСВ в дозах 20, 40 и 60 (ОСВ₂₀, ОСВ₄₀, ОСВ₆₀) т/га вносили поверхностно, взброс после отвальной вспашки.

С												
	П1	П2	П3									
	К			В1			В2			В3		

Рис. 1. Схема вегетационного опыта: С – сорт картофеля, сорт сои, К – контроль; В1, В2, В3 – варианты внесения ОСВ; П1, П2, П3 – повторности
Источник: сделано авторами

Fig. 1. Scheme of the pot experiment: С – potato/soybean cultivar; К – control; В1, В2, В3 – variants for application of WWS; П1, П2, П3 – replicates
Source: made by authors

На варианте без использования ОСВ (контроль) под планируемую урожайность картофеля 20 т/га и сои 2,5 т/га вносили минеральные удобрения соответственно в дозах $N_{80}P_{40}K_{90}$ и $N_{75}P_{50}K_{35}$ кг д.в./га, рассчитанных по методике В.И. Филина³.

Картофель высаживали по предварительно нарезанным гребням с междурядьями 0,75 м нормой 40 тыс. шт./га во II декаде июля, сою высевали с междурядьями 0,7 м нормой 600 тыс. шт./га во II декаде мая.

Предполивной порог влажности почвы в расчетном (активном) слое 0,0...0,6 м поддерживали не ниже 80 % НВ поливами дождеванием [15, 16]. Поливную норму рассчитывали по формуле А.Н. Костякова, а суммарное водопотребление культур — методом водного баланса⁴. Продуктивность использования оросительной

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

² Плешаков В.Н. Методика полевого опыта в условиях орошения. Волгоград, 1983. 150 с.

³ Филин В.И. Справочная книга по растениеводству с основами программирования урожая. Волгоград, 1994. 266 с.

⁴ Костяков А.Н. Основы мелиораций. М.: Сельхозгиз, 1960. 616 с.

воды оценивали по ее затратам на производство тонны урожая K_M и коэффициенту водопотребления растений K_E , м³/т:

$$K_M = M/Y,$$

где M — оросительная норма, м³/га; E — суммарное водопотребление, м³/га; Y — урожайность культуры, т/га.

Влажность почвы определяли прибором Aquaterr M-350 до посадки (посева), в фазы созревания клубней картофеля и полной спелости зерна сои в слое 0,0...1,0 м, в период вегетации культур в слое 0,0...0,6 м. Замеры влажности почвы проводили на постоянно закрепленных динамических площадках (5 м²) послойно через 0,1 м в 3-кратной повторности не реже одного раза в декаду, а также перед проведением полива и через 2 дня после полива ($P_{оде}$)⁵.

Почвы на экспериментальном стационаре светло-каштановые тяжелосуглинистые, в пахотном слое 0,22...0,24 м содержат около 2,0 % гумуса, 37...48 мг/кг доступных форм азота, 60...75 мг/кг фосфора, 265...290 мг/кг калия. В слое 0,0...0,6 м плотность 1,34 т/м³, наименьшая влагоемкость 22,7 % м.с.п. Грунтовые воды в водообмене активного слоя не участвуют.

Для назначения сроков поливов и определения суммарного водопотребления картофеля и сои проводили учет и анализ метеоусловий (метеостанция г. Волгограда; табл. 1). Обеспеченность периода вегетации культур естественным теплом и влагой оценивали по гидротермическому коэффициенту ГТК (Селянинов)⁶.

Таблица 1

Метеоусловия вегетации культур*

Месяцы года	Температура воздуха, °С			Относительная влажность воздуха, %			Осадки, мм	
	$t_{ср}$	t_{max}	$t_{ср.мнл}$	$\Phi_{ср}$	Φ_{min}	$\Phi_{ср.мнл}$	P	$P_{ср.мнл}$
Май	<u>19,0</u> 15,7	<u>32,4</u> 29,6	17,0	<u>54</u> 59	<u>32</u> 51	53	<u>28,8</u> 73,5	33,0
Июнь	<u>25,8</u> 25,5	<u>36,5</u> 33,2	21,0	<u>31</u> 32	<u>20</u> 20	53	<u>15,3</u> 18,6	36,0
Июль	<u>22,9</u> 28,8	<u>33,8</u> 40,0	23,4	<u>50</u> 27	<u>24</u> 22	37	<u>71,5</u> 0,6	33,0
Август	<u>22,8</u> 23,5	<u>37,3</u> 36,0	22,0	<u>39</u> 35	<u>26</u> 32	51	<u>1,7</u> 13,6	31,0
Сентябрь	<u>16,0</u> 19,2	<u>27,6</u> 34,8	16,2	<u>45</u> 39	<u>25</u> 36	57	<u>28,9</u> 1,8	25,0
Сумма	<u>3259</u> 3449	—	3048	—	—	—	<u>146,2</u> 108,1	158,0

*Над чертой — для картофеля (2019 г.), под чертой — сои (2020 г.).

⁵ Роде А.А. Методы изучения водного режима почв. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. 243 с.

⁶ Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1937. С. 5–27.

Meteorological vegetation conditions of crops*

Month	Air temperature, °C			Relative humidity, %			Precipitation, mm	
	T_{avg}	t_{max}	$T_{avg.mnl}$	φ_{avg}	φ_{min}	$\varphi_{avg.mnl}$	P	$P_{avg.mnl}$
May	<u>19.0</u> 15.7	<u>32.4</u> 29.6	17.0	<u>54</u> 59	<u>32</u> 51	53	<u>28.8</u> 73.5	33.0
June	<u>25.8</u> 25.5	<u>36.5</u> 33.2	21.0	<u>31</u> 32	<u>20</u> 20	53	<u>15.3</u> 18.6	36.0
July	<u>22.9</u> 28.8	<u>33.8</u> 40.0	23.4	<u>50</u> 27	<u>24</u> 22	37	<u>71.5</u> 0.6	33.0
August	<u>22.8</u> 23.5	<u>37.3</u> 36.0	22.0	<u>39</u> 35	<u>26</u> 32	51	<u>1.7</u> 13.6	31.0
September	<u>16.0</u> 19.2	<u>27.6</u> 34.8	16.2	<u>45</u> 39	<u>25</u> 36	57	<u>28.9</u> 1.8	25.0
Sum	<u>3259</u> 3449	—	3048	—	—	—	<u>146.2</u> 108.1	158.0

*Above the line – potatoes (2019), below the line – soybeans (2020).

Обеспеченность теплом посадок картофеля и посевов сои была близкой к среднелетним значениям, суммы активных температур было достаточно до полного вызревания. В 2019 г. с мая по август практически ежедневно максимальные температуры воздуха достигали 32,4...37,3 °C, в 2020 г. с июня по август в отдельные дни температура поднималась до 33,2...40,0 °C. Высокие температуры при низкой относительной влажности оказывали термический стресс на растения.

Распределение осадков за вегетационные периоды картофеля и сои было более неравномерным, 146,2 мм в 2019 г. и 108,1 мм в 2020 г. или соответственно 92 и 68 % от среднелетнего значения. Июль (2019 г.) и май (2020 г.) были влажными, выпало более двух норм осадков, но высокая интенсивность дождей образовывала ливневые стоки и не приводила к существенному накоплению почвой продуктивной влаги. Август (2019 г.), июль и сентябрь (2020 г.) были практически без осадков с суховеями. В целом периоды вегетации растений можно охарактеризовать как сухие с ГТК не более 0,39.

Индекс загрязнения почвы ИЗП (МУ 2.1.7.730–99) рассчитывали по формуле

$$\text{ИЗП} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{fi}} - (n - 1),$$

где C_i — фактическое содержание i -го вещества в почве, мг/кг; C_{fi} — фоновое содержание i -го вещества в почве, мг/кг; n — количество определяемых веществ (Cd, Pb, Zn, Cu).

Для качественной характеристики клубней картофеля проводили лабораторные исследования на содержание в них тяжелых металлов (Cd, Pb, Zn, Cu), крахмала, сухого вещества и нитратов.

Результаты исследования и обсуждение

Проведение оросительных мелиораций в комплексе с другими видами мелиорации земель сельскохозяйственного использования является одним из важнейших факторов реализации биологической продуктивности культур и устойчивости производства продовольствия в условиях засушливого климата Нижнего Поволжья [17, 18].

С учетом запасов влаги в почве перед посадкой и посевом культур (табл. 2) и календарных сроков окончания их вегетации рассчитали поливные нормы и суммарное водопотребление растений (табл. 3). Так фаза созревания клубней картофеля наступила во II декаде сентября, а фаза полной спелости зерна сои — в I декаде сентября. Вегетационный период картофеля продолжался в течение 62 суток при сумме среднесуточных температур воздуха приблизительно равной 1340 °С, а сои — 119 суток при сумме среднесуточных температур воздуха около 2660 °С.

Таблица 2

Запасы продуктивной влаги в расчетном слое почвы 0,6 м*

Варианты опыта	Запасы влаги на начало вегетации		Запасы влаги на конец вегетации	
	Картофель	Соя	Картофель	Соя
Контроль	88,2	89,3	67,8	72,2
	1610	160	1237	1318
ОСВ ₂₀	89,9	91,8	80,5	88,4
	1641	1675	1469	1613
ОСВ ₄₀	92,4	93,6	76,6	87,8
	1686	1708	1398	1602
ОСВ ₆₀	94,0	95,7	76,1	85,8
	1716	1747	1389	1566

*Над чертой — % НВ, под чертой — в м³/га.

Table 2

Productive moisture reserves in 0.6 m soil layer*

Variant	Moisture reserves at the beginning of the growing season		Moisture reserves at the end of the growing season	
	Potato	Soybean	Potato	Soybean
Control	88.2	89.3	67.8	72.2
	1610	160	1237	1318
WWS ₂₀	89.9	91.8	80.5	88.4
	1641	1675	1469	1613
WWS ₄₀	92.4	93.6	76.6	87.8
	1686	1708	1398	1602
WWS ₆₀	94.0	95.7	76.1	85.8
	1716	1747	1389	1566

*Above the line — % FC, below the line — м³·га⁻¹.

Структура суммарного водопотребления культур*

Варианты опыта	Оросительная норма		Влага от осадков		Влага из почвы		Суммарное водопотребление	
	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%	м ³ /га	%
Контроль	<u>2590</u> 3700	<u>76,8</u> 81,4	416 568	<u>12,3</u> 12,5	<u>368</u> 280	<u>10,9</u> 6,1	<u>3374</u> 4548	100
ОСВ ₂₀	<u>2590</u> 3700	<u>81,5</u> 85,5		<u>13,1</u> 13,1	<u>172</u> 57	<u>5,4</u> 1,4	<u>3178</u> 4325	
ОСВ ₄₀	<u>2220</u> 3330	<u>75,8</u> 83,0		<u>14,2</u> 14,2	<u>292</u> 114	<u>10,0</u> 2,8	<u>2928</u> 4012	
ОСВ ₆₀	<u>1850</u> 2960	<u>71,2</u> 79,8		<u>16,0</u> 15,3	<u>332</u> 183	<u>12,8</u> 4,9	<u>2598</u> 3711	

*Над чертой – картофеля (2019 г.), под чертой – сои (2020 г.)

Table 3

The structure of the total water consumption of crops*

Variant	Irrigation rate		Precipitation moisture		Soil moisture		Total water consumption	
	m ³ ·ha ⁻¹	%	m ³ ·ha ⁻¹	%	m ³ ·ha ⁻¹	%	m ³ ·ha ⁻¹	%
Control	<u>2590</u> 3700	<u>76.8</u> 81.4	416 568	<u>12.3</u> 12.5	<u>368</u> 280	<u>10.9</u> 6.1	<u>3374</u> 4548	100
WWS ₂₀	<u>2590</u> 3700	<u>81.5</u> 85.5		<u>13.1</u> 13.1	<u>172</u> 57	<u>5.4</u> 1.4	<u>3178</u> 4325	
WWS ₄₀	<u>2220</u> 3330	<u>75.8</u> 83.0		<u>14.2</u> 14.2	<u>292</u> 114	<u>10.0</u> 2.8	<u>2928</u> 4012	
WWS ₆₀	<u>1850</u> 2960	<u>71.2</u> 79.8		<u>16.0</u> 15.3	<u>332</u> 183	<u>12.8</u> 4.9	<u>2598</u> 3711	

*Above the line – potatoes (2019), below the line – soybeans (2020).

Период от посадки до первого полива картофеля составил 7 суток на контроле, 9, 11 и 13 суток на вариантах ОСВ₂₀, ОСВ₄₀ и ОСВ₆₀ соответственно. В структуре суммарного водопотребления картофеля доля оросительной воды составила от 76,8 (2590 м³/га на контроле) до 71,2 % (1850 м³/га на варианте ОСВ₆₀), доля атмосферных осадков — от 12,3 до 16,0 %, а доля почвенной влаги — от 10,9 (368 м³/га) до 12,8 % (332 м³/га) соответственно. Вегетационных поливов проведено: 7 на контроле при межполивном периоде 6...8 суток, 7 на варианте с ОСВ₂₀ при межполивном периоде 7...10 суток, 6 на варианте ОСВ₄₀ и 5 на варианте ОСВ₆₀ при межполивных периодах соответственно 8...12 и 10...13 суток. Суммарное водопотребление составило от 3374 до 2598 м³/га, а среднесуточное — 54,4...41,9 м³/га.

На посевах сои без внесения ОСВ первый полив произвели через 20 суток, на вариантах ОСВ₂₀, ОСВ₄₀ и ОСВ₆₀ — через 23, 26 и 28 суток соответственно. Оросительная норма на посевах сои была значительно выше, чем на посадках картофеля (2960...3700 против 1850...2590 м³/га), что обусловлено физиологией

растений, разными сроками вегетации и наступления межфазных периодов «нарастающего» и «затухающего» водопотребления.

В структуре суммарного водопотребления сои на контроле и на варианте ОСВ₆₀ доля оросительной воды составила 81,4 и 79,8 %, доля атмосферных осадков — 12,5 и 15,3 %, а доля почвенной влаги — 6,1 и 4,9 % соответственно. Вегетационных поливов проведено: 10 на контроле при межполивном периоде 6...10 суток, 10 на варианте с ОСВ₂₀ при межполивном периоде 7...11 суток, 9 на варианте ОСВ₄₀ и 8 на варианте ОСВ₆₀ при межполивных периодах соответственно 8...13 и 9...14 суток. Суммарное водопотребление составило от 4548 до 3711 м³/га, а среднесуточное — 38,2...31,2 м³/га.

Степень загрязнения почвы валовыми формами тяжелых металлов определяли путем сравнения с предельно допустимой концентрацией (ПДК) и ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) соответствующего элемента или его фоновым содержанием, а также индексом загрязнения (ИЗП). Анализ результатов (рис. 2) показывает, что все наблюдаемые элементы в пахотном слое почвы не превышают ПДК и ОДК. ИЗП варьирует от 2,54 ед. на варианте ОСВ₂₀ до 4,04 ед. на варианте ОСВ₆₀. При ИЗП < 16 почва относится к категории с допустимым загрязнением (МУ 2.1.7.730–99).

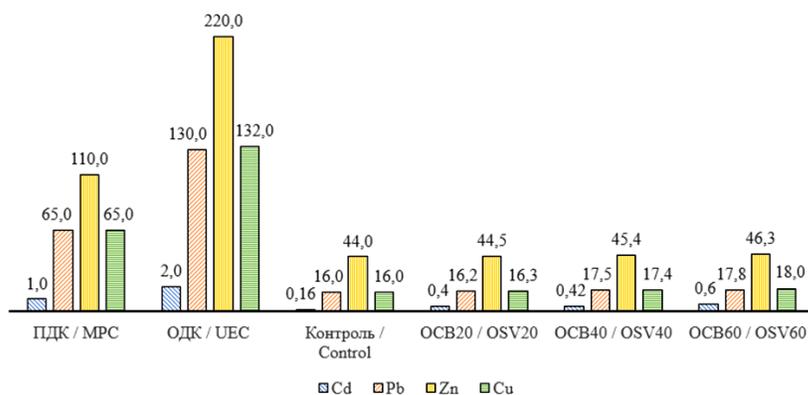


Рис. 2. Содержание валовых форм тяжелых металлов в пахотном слое почвы на посадках картофеля, мг/кг

Источник: сделано авторами

Fig. 2. Content of gross forms of heavy metals in the arable soil layer of potato crops, mg·kg⁻¹

Source: made by authors

Химический состав растений отражает элементный состав почвы, чем и обусловлено некоторое наличие тяжелых металлов в клубнях картофеля (рис. 3). Тем не менее, оценивая полученный урожай (рис. 4) по содержанию крахмала, сухого вещества и нитратов, клубни картофеля можно отнести к качественной продукции, а по тяжелым металлам — к «чистой» и «условно годной» (СанПиН 2.3.2.1078–01). Учитывая семенную направленность производства картофеля, наличие тяжелых металлов в пределах от ПДК до 2 ПДК нивелируется в дальнейшем при выращивании товарной продукции.

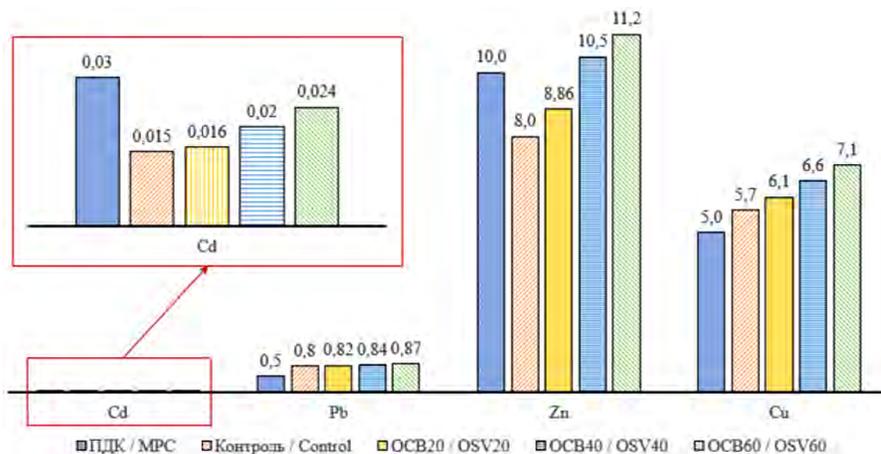


Рис. 3. Содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля, мг/кг
 Источник: сделано авторами

Fig. 3. Contents of heavy metals in potato tubers, mg·kg⁻¹
 Source: made by authors

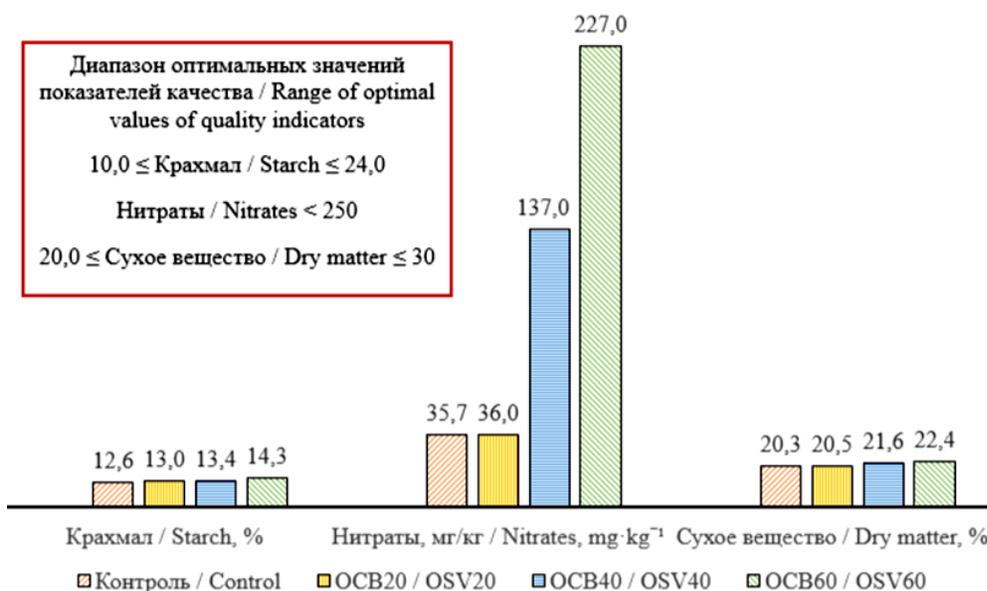


Рис. 4. Оценка качества клубней картофеля
 Источник: сделано авторами

Fig. 4. Assessment of potato tubers quality
 Source: made by authors

Вследствие низких показателей загрязнения почвы и клубней картофеля валовыми формами тяжелых металлов и нитратами на посевах сои определение ИЗП и качества зерна не проводили.

Оценка продуктивности использования воды растениями с учетом сформированного урожая по вариантам опыта приведена в табл. 4.

Таблица 4

Эффективность использования оросительной воды

Варианты опыта	$\frac{M}{E}, \text{ м}^3/\text{га}$		$Y, \frac{\text{т/га}}{\% \text{ к контролю}}$		$\frac{K_M}{K_V}, \text{ м}^3/\text{т}$	
	Картофель	Соя	Картофель	Соя	Картофель	Соя
Контроль	<u>2590</u> 3374	<u>3700</u> 4548	<u>20,8</u> 100	<u>2,85</u> 100	<u>124,5</u> 162,2	<u>1298,2</u> 1595,8
ОСВ ₂₀	<u>2590</u> 3178	<u>3700</u> 4325	<u>21,9</u> 5,30	<u>3,05</u> 7,01	<u>118,3</u> 145,1	<u>1213,1</u> 1418,0
ОСВ ₄₀	<u>2220</u> 2928	<u>3330</u> 4012	<u>23,7</u> 13,9	<u>3,27</u> 14,7	<u>93,7</u> 123,5	<u>1018,3</u> 1226,9
ОСВ ₆₀	<u>1850</u> 2598	<u>2960</u> 3711	<u>25,4</u> 22,1	<u>3,34</u> 17,2	<u>72,8</u> 102,3	<u>886,2</u> 1111,0

Table 4

Irrigation water use efficiency

Variant	$\frac{M}{E}, \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$		$Y, \frac{\text{т} \cdot \text{га}^{-1}}{\% \text{ to control}}$		$\frac{K_M}{K_V}, \text{ м}^3 \cdot \text{т}^{-1}$	
	Potato	Soybean	Potato	Soybean	Potato	Soybean
Control	<u>2590</u> 3374	<u>3700</u> 4548	<u>20.8</u> 100	<u>2.85</u> 100	<u>124.5</u> 162.2	<u>1298.2</u> 1595.8
WWS ₂₀	<u>2590</u> 3178	<u>3700</u> 4325	<u>21.9</u> 5.30	<u>3.05</u> 7.01	<u>118.3</u> 145.1	<u>1213.1</u> 1418.0
WWS ₄₀	<u>2220</u> 2928	<u>3330</u> 4012	<u>23.7</u> 13.9	<u>3.27</u> 14.7	<u>93.7</u> 123.5	<u>1018.3</u> 1226.9
WWS ₆₀	<u>1850</u> 2598	<u>2960</u> 3711	<u>25.4</u> 22.1	<u>3.34</u> 17.2	<u>72.8</u> 102.3	<u>886.2</u> 1111.0

Согласно результатам статистической обработки данных все различия существенны и значимы. Урожайность клубней картофеля на вариантах ОСВ₂₀, ОСВ₄₀ и ОСВ₆₀ превышает контроль соответственно на 1,1, 2,9 и 4,6 т/га ($НСР_{05} = 0,74$ т/га) или на 5,3, 13,9 и 22,1 %. Затраты оросительной воды на получение тонны продукции и коэффициент водопотребления растениями картофеля на контроле составили 124,5 и 162,2 м³/т против 118,3 и 72,8; 145,1 и 102,3 м³/т по вариантам ОСВ₂₀, ОСВ₄₀ и ОСВ₆₀, что соответствовало экономии водных ресурсов от 5 до 41,5 и от 10,5 до 36,9 %.

Подобная «картина» сложилась и на посевах сои. Урожай зерна по вариантам опыта ОСВ₂₀, ОСВ₄₀ и ОСВ₆₀ изменялся от 3,05 до 3,34 т/га при затратах оросительной воды от 1213,1 до 886,2 м³/т, что составило прибавку к контролю от 7,01 до 17,2 % и экономию воды на формирование тонны зерна от 85,1 до 412 м³. При этом коэффициент водопотребления от контрольного варианта составил от 88,8 до 69,6 %.

Заключение

В опытах с возделыванием картофеля и сои в условиях орошения установлено, что внесение в почву осадка сточных вод в дозах от 20 до 60 т/га позволяет к началу вегетационного периода дополнительно накопить продуктивной влаги в слое 0,6 м от 38 до 116 м³/га и таким образом более эффективно использовать оросительную воду на получение урожая, что подтверждает влагосорбирующие и водоудерживающие свойства ОСВ. Доказано: удобрительное действие и последствие ОСВ в указанных дозах обеспечивает к контролю прибавку урожая на уровне 5,3...22,1 % по картофелю и 7,01...17,2 % по сое, снижение коэффициента водопотребления на уровне 89,5...63,1 и 88,8...69,6 % соответственно. При этом обеспечивается высокое качество семенной продукции и допустимый индекс загрязнения почвы.

Список литературы

1. FAO. 2020. The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Rome. doi: 10.4060/cb1447en
2. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2023. The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural-urban continuum. Rome, FAO. doi: 10.4060/cc3017en
3. Кружилин И.П., Новиков А.Е., Дубенок Н.Н. Обоснование водного режима почвы и регламента поливов аэробного риса // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 1. С. 62–66. doi: 10.30850/vrsn/2021/1/62-66
4. Новиков А.Е., Цепляев А.Н., Семенов С.Я. Ресурсосберегающие технологии возделывания картофеля при дождевании с применением гидрогеля // Известия НВ АУК. 2023. № 2(70). С. 416–423. doi: 10.32786/2071-9485-2023-02-49
5. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological Substantiation for the Use of Treated Wastewater for Irrigation of Agricultural Land // Journal of Ecological Engineering. 2018. Vol. 19. № 1. P. 48–4. doi: 10.12911/22998993/79567
6. Iqbal M., Nauman S., Ghafari M., Parnianifard A., Gomes A., Gomes Ch. Treatment of Wastewater for Agricultural Applications in Regions of Water Scarcity // Biointerface Research in Applied Chemistry. 2021. Vol. 12. № 5. P. 6336–6360. doi: 10.33263/BRIAC125.63366360
7. Younas H., Younas F. Wastewater Application in Agriculture — A Review // Water, Air, and Soil Pollution. 2022. № 233(8). doi: 10.1007/s11270-022-05749-9
8. Шуравлин А.В., Овчинников А.С., Сурикова Н.В., Бордычев В.В., Пивень Е.А. Эффективное использование сточных вод и их осадка для орошения и удобрения сельскохозяйственных культур: монография. Волгоград, 2009. 636 с.
9. Межевова А.С. Влияние осадков сточных вод и приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги, продуктивность и качество семян Сафлора красильного // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 4. С. 9–12. doi: 10.31857/S2500262721040025
10. Касатиков В.А. Влияние мелиоративных доз осадка городских сточных вод на азотный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зерновых культур // Агрохимия. 2020. № 6. С. 64–68. doi: 10.31857/S0002188120060058
11. Касатиков В.А., Габардина Н.П., Раскатов В.А. Агроэкологическая оценка применения осадка городских сточных вод в длительном полевом опыте // Плодородие. 2018. № 5 (104). С. 46–49. doi: 10.25680/S19948603.2018.104.14
12. Виноградов Д.В., Макарова М.П., Зубкова Т.В. Применение удобрительных смесей на основе осадков сточных вод и цеолита в агроценозах масличных культур // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 1. С. 93–100. doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-093-100
13. Pyndak V.I., Novikov A.E., Shtepa V.N. Optimization of organic-containing wastewater and sludge treatment systems // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2017. № 46(5). P. 507–511. doi: 10.3103/S1052618817040148

14. Межевова А.С., Новиков А.Е. Состав, структура и морфология осадка сточных вод // Известия НВ АУК. 2021. № 1(61). С. 389–398. doi: 10.32786/2071-9485-2021-01-37
15. Кружилин И.П., Мелихов В.В., Дронова Т.Н. и др. Научное обоснование дождевальной техники и режимов орошения сельскохозяйственных культур в Нижнем Поволжье: рекомендации. Волгоград, 2015. 36 с.
16. Дубенок Н.Н., Болотин Д.А., Болотин А.Г. и др. Продуктивность различных сортов картофеля при капельном орошении в Нижнем Поволжье // Известия НВ АУК. 2017. № 2(46). С. 28–37.
17. Мухаметханова С.С., Толоконников В.В., Канцер Г.П., Плющева Н.М. Сортовые особенности водопотребления сои // Орошаемое земледелие. 2021. № 3. С. 19–22. doi: 10.35809/2618-8279-2021-3-2
18. Мелихов В.В. Использование орошения для повышения стабильности результатов растениеводства // Орошаемое земледелие. 2015. № 4. С. 3–4.

References

1. FAO. The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. Rome; 2020. doi: 10.4060/cb1447en
2. FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural-urban continuum. Rome; 2023. doi: 10.4060/cc3017en
3. Kruzhillin IP, Novikov AE, Dubenok NN. Justification of water regime and regulations for aerobic rice. *Russian Agricultural Sciences*. 2021;(1):62–66. (In Russ.). doi: 10.30850/vrsn/2021/1/62-66
4. Novikov AE, Tseplyaev AN, Semenenko SY. Resource-saving technologies of potato cultivation during sprinkling using hydrogel. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2023;(2):416–423. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2023-02-49
5. Vasilyev S, Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land. *Journal of Ecological Engineering*. 2018;19(1):48–54. doi: 10.12911/22998993/79567
6. Iqbal M, Nauman S, Ghafari M, Parnianifard A, Gomes A, Gomes C. Treatment of wastewater for agricultural applications in regions of water scarcity. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021;12(5):6336–6360. doi: 10.33263/BRIAC125.63366360
7. Younas H, Younas F. Wastewater application in agriculture — a review. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2022;233:329. doi: 10.1007/s11270-022-05749-9
8. Shuravilin AV, Ovchinnikov AS, Surikova NV, Bordychev VV, Piven EA. *Effektivnoe ispol'zovanie stochnykh vod i ikh osadka dlya orosheniya i udobreniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur* [Efficient use of wastewater and its sediment for irrigation and fertilization of agricultural crops]. Volgograd; 2009. (In Russ.).
9. Mezhevova AS. Influence of sewage sludge and basic tillage methods on the dynamics of moisture reserves, productivity and quality of *Carthamus tinctorius* seeds. *Russian Agricultural Sciences*. 2021;(4):9–12. (In Russ.). doi: 10.31857/S2500262721040025
10. Kasatkov VA. Effect of reclamation doses of sludge of municipal wastewater on nitrogen regime of sod-podzolic soil and crop productivity. *Agrohimiya*. 2020;(6):64–68. (In Russ.). doi: 10.31857/S0002188120060058
11. Kasatkov VA, Shabardina NP, Raskatov VA. Agroecological evaluation of influence of municipal wastewater sludge application in long-term field experiment. *Plodorodie*. 2018;(5):46–49. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2018.104.14
12. Vinogradov DV, Makarova MP, Zubkova TV. The use of fertilizer mixtures based on sewage sludge and zeolite in oilseed agrocenoses. *Theoretical and Applied Ecology*. 2023;(1):93–100. (In Russ.). doi: 10.25750/1995-4301-2023-1-093-100
13. Pyndak VI, Novikov AE, Shtepa VN. Optimization of organic-containing wastewater and sludge treatment systems. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2017;46:507–511. doi: 10.3103/S1052618817040148
14. Mezhevova AS, Novikov AE. Composition, structure and morphology of sewage sludge. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2021;(1):389–398. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2021-01-37
15. Melikhov VV, Kruzhillin IP, Bolotin AG, Dronova TN, Danilenko YP, Novikov AA, et al. *Nauchnoe obosnovanie dozhdval'noi tekhniki i rezhimov orosheniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Nizhnem Povolzh'e* [Scientific substantiation of sprinkler technology and irrigation regimes for agricultural crops in the Lower Volga region]. Volgograd; 2015. (In Russ.).
16. Dubenok NN, Bolotin DA, Bolotin AG. Productivity of different varieties of potatoes during drip irrigation in the Lower Volga region. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2017;(2):28–37. (In Russ.).

17. Mukhametkhanova SS, Tolokonnikov VV, Kantser GP, Plyushcheva NM. Variety features of water consumption of soy. *Irrigated Agriculture*. 2021;(3):19–22. (In Russ.). doi: 10.35809/2618-8279-2021-3-2

18. Melikhov VV. The use of irrigation to increase the stability of crop production results. *Irrigated Agriculture*. 2015;(4):3–4. (In Russ.).

Об авторах:

Новиков Андрей Евгеньевич — доктор технических наук, член-корреспондент РАН, директор, ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; заведующий кафедрой процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28; e-mail: ae_novikov@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8051-4786

Поддубский Антон Александрович — кандидат технических наук, директор, агроинженерный департамент, агротехнологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: poddubskiy-aa@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9796-2924

Новиков Алексей Андреевич — доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

ORCID: 0000-0002-7698-8268

Збукарев Роман Валентинович — лаборант-исследователь, ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: zbukarevr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9237-547X

Богомолова Наталья Владимировна — ассистент, агроинженерный департамент, агротехнологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: bogomolova-nv@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-0741-392X

About authors:

Novikov Andrey Evgenievich — Doctor of Technical Sciences, Corresponding Member of RAS, Director, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9 Timiryazev st., Volgograd, 400002, Russian Federation; Head of the Department, Processes and Devices of Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University, 28 Lenin ave., Volgograd, 400005, Russian Federation; e-mail: ae_novikov@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8051-4786

Poddubsky Anton Alexandrovich — Candidate of Technical Sciences, Director, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: poddubskiy-aa@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9796-2924

Novikov Alexey Andreevich — Doctor of Agricultural Sciences, Deputy Director for Science, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9 Timiryazev st., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: alexeynovikov@inbox.ru

ORCID: 0000-0002-7698-8268

Zbukarev Roman Valentinovich — Laboratory researcher, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9 Timiryazev st., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: zbukarevr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9237-547X

Bogomolova Natalya Vladimirovna — Assistant, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: bogomolova-nv@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-0741-392X



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-580-590

EDN: NJFHNU

УДК 619:618.96:569.822.2–086

Научная статья / Research article

Динамика морфофункциональных показателей при экспериментальном псевдомонозе кроликов

Е.М. Ленченко¹  , Г.С. Толмачева² ¹Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация²Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова, г. Москва, Российская Федерация lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Аннотация. Среди наиболее часто регистрируемых болезней кроликов основное место занимают болезни бактериальной этиологии, возбудители которых характеризуются множественной лекарственной устойчивостью. Цель исследования — анализ динамики морфометрических показателей при экспериментальном заражении кроликов бактериями *Pseudomonas aeruginosa*. При оценке колонизационной резистентности органов учитывали индекс колонизации, отношение количества микроорганизмов, выделенных из смывов носовой полости и содержимого слепого кишечника клинически здоровых и больных животных. Достоверно значимые изменения морфологических параметров ($p \leq 0,05$) выявлены при выделении изолятов *P. aeruginosa* из крови, лимфатических узлов, селезенки, печени и почек больных кроликов. Избыточный рост изолятов, продуцирующих адгезивные антигены, гемолизины, бактериоцины, следует рассматривать как прогностические маркеры дисплазии соединительной ткани. Инициация, развитие и исход синдрома избыточного роста микроорганизмов опосредованы морфофункциональными изменениями компенсаторных механизмов мукоцилиарной системы клиренса и колонизационной резистентности.

© Ленченко Е.М., Толмачева Г.С., 2023

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

Ключевые слова: колонизационная резистентность, диссеминация микроорганизмов, гиперпластические процессы, периваскулярный отек

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

Вклад авторов: концепция — Е.М. Ленченко; методология, валидация — Г.С. Толмачева; работа с данными — Е.М. Ленченко, Г.С. Толмачева; ревизия и редактирование текста — Е.М. Ленченко. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

История статьи: поступила в редакцию 9 октября 2023 г., принята к публикации 6 ноября 2023 г.

Для цитирования: Ленченко Е.М., Толмачева Г.С. Динамика морфофункциональных показателей при экспериментальном псевдомонозе кроликов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 580—590. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-580-590

Dynamics of morphofunctional parameters in experimental pseudomonosis of rabbits

Ekaterina M. Lenchenko¹  , Galina S. Tolmacheva² 

¹Russian Biotechnological University (RosBioTech), Moscow, Russian Federation

²Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

 lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Abstract. Among the most frequently reported diseases of rabbits, the main place is occupied by diseases of bacterial etiology, the pathogens of which are characterized by multidrug resistance. The aim of the study was to analyze the dynamics of morphometric indicators during experimental infection of rabbits with *Pseudomonas aeruginosa* bacteria. When assessing colonization resistance of organs, the following indicators were taken into account: colonization index, ratio of the number of microorganisms isolated from nasal cavity washes, contents of cecum of clinically healthy and sick animals. Significant changes in morphological parameters ($p \leq 0.05$) were revealed during the isolation of *P. aeruginosa* from blood, lymph nodes, spleen, liver, and kidneys of sick rabbits. Overgrowth of isolates producing adhesive antigens, hemolysins, bacteriocins should be considered as prognostic markers of connective tissue dysplasia. The initiation, development, and outcome of microbial overgrowth syndrome are mediated by morphofunctional changes in compensatory mechanisms of mucociliary clearance system and colonization resistance.

Key words: colonization resistance, dissemination of microorganisms, hyperplastic processes, perivascular edema

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Author contributions. Lenchenko E.M., Tolmacheva G.S. developed and designed the experiments; Lenchenko E.M., Tolmacheva G.S. collected and analyzed the data; Lenchenko E.M. wrote the paper. All authors read and approved the final manuscript.

Article history: Received: 9 October 2023. Accepted: 6 November 2023.

For citation: Lenchenko EM, Tolmacheva GS. Dynamics of morphofunctional parameters in experimental pseudomonosis of rabbits. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):580–590. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-580-590

Введение

Воздействие неблагоприятных факторов, нарушения зоогигиенических параметров способствуют развитию инфекционных болезней кроликов, в т.ч. и псевдомоноза [1–3]. Наблюдается тенденция статистически значимого роста эпизоотической энтеропатии кроликов, заболеваемость достигает 90,0 %, смертность — 80,0 % [4]. Из общего числа четырех кластеров популяций микроорганизмов, изолированных из содержимого желудка (I), двенадцатиперстной и тощей кишки (II), подвздошной кишки (III) и толстой кишки (IV) клинически здоровых кроликов, бактерии *Firmicutes* составили 45,9 %, *Bacteroidetes* — 38,9 %, *Euryarchaeota* — 25,9 % [5]. При снижении компенсаторных механизмов естественной резистентности организма возрастает инцидентность синдрома избыточного роста патогенных микроорганизмов, продуцирующих гемолизины, бактериоцины, полисахариды — маркеры формирования биопленок [6]. Из числа резистентных адаптированных к действию терапевтических и дезинфицирующих препаратов наиболее приоритетными для исследований признаны бактерии, именуемые ESKAPE — *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter spp.* [7]. В условиях тенденции возрастания антропогенной нагрузки перспективным направлением научных изысканий является дальнейшее углубленное исследование механизмов снижения естественной резистентности организма. Это будет способствовать в перспективе разработке новых методологических подходов для организации контроля критических точек и управления опасными факторами технологий кролиководства. Раскрытие патогенетических механизмов инфекционного процесса на основе апробации и подбора стандартизированных многоуровневых алгоритмов диагностики позволит разработать эффективные способы терапии и превентивные противоэпизоотические мероприятия, что и обосновывает актуальность темы исследований.

Цель исследования — анализ динамики морфометрических показателей при экспериментальном заражении кроликов бактериями *P. aeruginosa*.

Материалы и методы исследования

Для исследований динамики морфологических и микробиологических показателей кроликов породы шиншилла массой тела 250...300 г ($n = 3$) ин-

траназально заражали 0,5 см³ взвеси *P. aeruginosa* с титром 10⁹ бактерий/см³ — опыт. Аналогичной группе животных ($n = 3$) вводили тем же способом 0,85 % раствор NaCl в дозе 0,5 см³ — опыт. Учитывали индекс колонизации — отношение количества микроорганизмов, выделенных из смывов носовой полости и содержимого слепого кишечника клинически здоровых и больных животных. Для индикации и идентификации микроорганизмов исследовали патматериал: кровь, легкие, кишечник, печень, лимфатические узлы, селезенка, почки. Опыты проводили соответственно требованиям «Директива 2010/63/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза» от 22 сентября 2010 г. о защите животных, используемых в научных целях. Результаты экспериментальных исследований обрабатывали методом вариационной статистики, с использованием программы Statistika для PC Microsoft Excel 2007, результаты считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Клинические проявления болезни развивались в течение 24...72 ч экспериментальных исследований. Температура тела повышалась на 1,0...1,5 °С, выделялась пенная слизь из носовых отверстий, учащалась частота дыхания. При развитии респираторного синдрома и клинических признаков диареи и дегидратации индекс колонизации носовой полости составлял $3,1 \pm 0,11 \dots 3,7 \pm 0,15$, слепого кишечника — $0,869 \pm 0,12 \dots 0,985 \pm 0,14$. Установлены прямые коррелятивные зависимости ($r = 0,86$) показателей колонизационной резистентности и развития дисплазии соединительной ткани дыхательной и пищеварительной системы больных животных. Достоверно значимые изменения морфологических параметров ($p \leq 0,05$) были выявлены при выделении изолятов *P. aeruginosa* из крови, лимфатических узлов, селезенки, печени и почек (рис. 1).

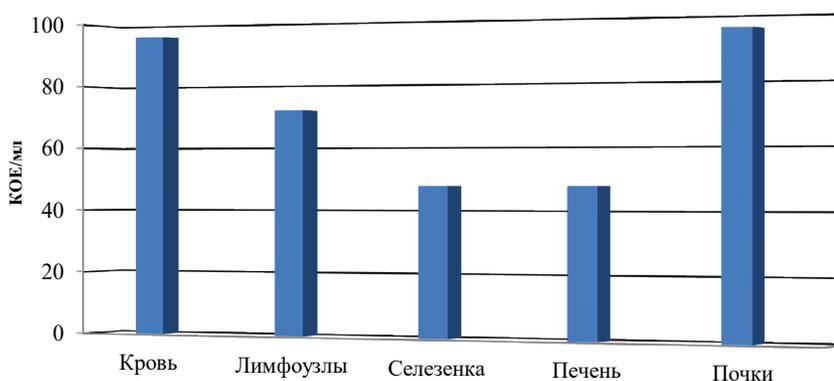


Рис. 1. Диссеминация бактерий при интраназальном заражении культурой микроорганизмов *P. aeruginosa*, 1×10^9 КОЕ/мл

Источник: сделано авторами

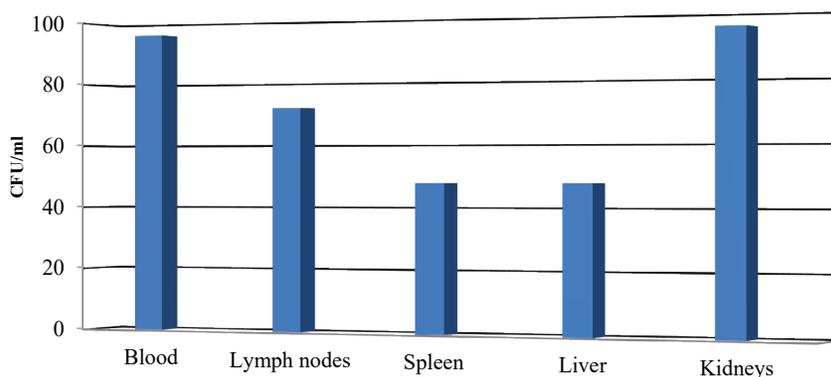


Fig. 1. Dissemination of bacteria during intranasal infection with a culture of microorganisms *P. aeruginosa*, 1×10^8 CFU/ml

Source: made by the authors

При диссеминации бактерий развивались гиперемия, отек, множественные кровоизлияния, скопление геморрагического экссудата в просвете органов. На первом этапе введения антигена развивались признаки диффузной пролиферации преимущественно бронхопальмональной лимфоидной ткани — зона первичного комплекса. Снижение компенсаторных механизмов мукоцилиарной системы клиренса и колонизационной резистентности обуславливает серозно-геморрагический отек регионарных лимфоидных фолликулов. Развиваются множественная бактериальная эмболия сосудов, геморрагический диатез, сосудистые реакции.

Общей закономерностью проявлений реакций гиперчувствительности замедленного типа являлось развитие признаков акцидентальной трансформации тимуса и гиперплазии селезенки и регионарных лимфатических узлов. При расстройстве кровообращения органов выявляли делимфатизацию корковой зоны долек тимуса. Полиморфные тимические тельца, представляющие детриты эпителиальных клеток и содержащие кистоподобные полости, дифференцировали в интрамедулярном пространстве. Выявлялись васкулиты, фибриноидный некроз сосудов, гемолиз эритроцитов, интраваскулярная дифференциация волокон фибрина и признаки выраженного синусоидального отека (рис. 2).

Селезенка была увеличенной, при значительном кровенаполнении органа и обильном соскобе развивались склеротические процессы кровеносных сосудов, расширение краевых синусов. Выявляли признаки гемосидероза красной пульпы, гиперплазию белой пульпы, редуцирование реактивных центров большинства фолликулов и формирование очагов некроза. Развитие гиалиновой дистрофии коллагеновых волокон сопровождалось атрофией гистиоцитов и фибробластов капсулы и трабекул органов, а также адвентициальной оболочки трабекулярных артерий. При значительном изменении фибриллярной структуры коллагеновых волокон выявляли участки однородной гомогенной стекловидной массы, окрашенной эозином в ярко красный цвет. В этих участках клетки не выявлялись.

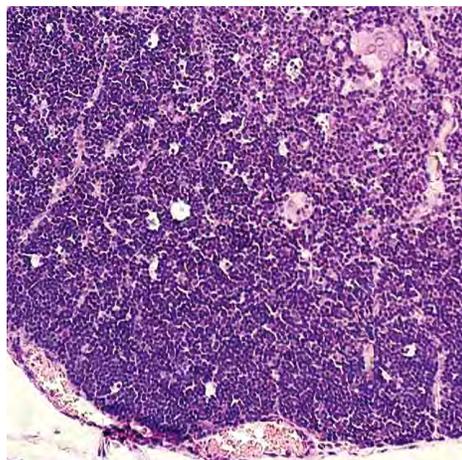


Рис. 2. Тимус кролика при заражении бактериями *P. aeruginosa*. Гематоксилин и эозин. Ок. 10, об. 20, H604 Trinocular Unico, USA

Источник: сделано авторами

Fig. 2. Rabbit thymus when infected with bacteria *P. aeruginosa*. Hematoxylin and eosin. Magnification: 10 × 20, H604 Trinocular Unico, USA

Source: made by the authors

Под плеврой выявляли множественные точечные и пятнистые кровоизлияния. При разрезе органа вытекала пенная жидкость красного цвета. Полости правой половины сердца были расширены, наполнены жидкостью красного цвета, как правило, развивались признаки гипертрофии правого желудочка и склероза легочных сосудов. На более поздних этапах инфекционного процесса синдром избыточного роста микроорганизмов и изменение видового состава эволюционно-сложившихся микробиоценозов сопряжены с развитием легочно-кишечных, гепатотоксических и нефротоксических «перекрестных» патологий. Слизистые оболочки носовой полости, гортани, трахеи были отечными, с множественными мелкими и диффузными кровоизлияниями. Легкие были интенсивно отечными, дряблой консистенции и неравномерно окрашены, долики — серовато-розовые и ярко красные. Развитие серозно-геморрагической бронхопневмонии характеризовалось поражением значительной части долек легких. Как правило, долики имели дряблую консистенцию и были неравномерно окрашены, преимущественно светло-красного цвета, верхушечные были темно-красного цвета, иногда имели синий оттенок.

Гиперемия и отек слизистой оболочки выявляли на всем протяжении кишечника, наиболее выраженные изменения развивались в терминальном отделе подвздошного и слепого кишечника. Крипты кишечника были деформированы, выявляли выраженную диффузную и очаговую воспалительную инфильтрацию лимфоцитами, плазмоцитами, макрофагами.

Признаки экссудативно-инфильтративных, дистрофических и некротических процессов при эмболии сосудов сердца и легких сопровождалась полнокровием сосудов печени, почек, селезенки. Печень была дряблой консистенции, выявлялась зернистая дистрофия гепатоцитов, внутридольковые капилляры расширены, нарушено балочное строение органа (рис. 3).

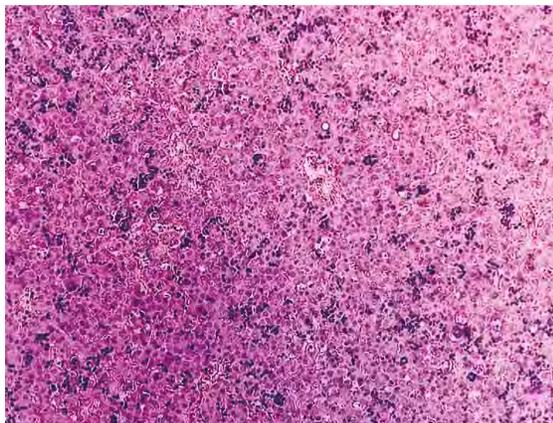


Рис. 3. Печень кролика при заражении бактериями *P. aeruginosa*.
Гематоксилин и эозин. Ок. 10, об. 20, H604 Trinocular Unico, USA
Источник: сделано авторами

Fig. 3. Rabbit liver when infected with bacteria *P. aeruginosa*. Hematoxylin and eo-sin.
Magnification: 10 × 20, H604 Trinocular Unico, USA
Source: made by the authors

При нефротоксическом синдроме выявляли острый диффузный интерстициальный нефрит, характеризовавшийся пролиферацией клеток соединительной ткани с преобладанием эпителиоидных элементов. При лейкоцитарной инфильтрации артериальные клубочки плотно прилегали к капсуле нефрона, просветы канальцев не различались. На разных стадиях токсической нефропатии, как правило, развивались признаки воспалительной гиперемии сосудов, переполненных кровью. В просвете канальцев и паренхиме коркового и мозгового слоев обнаруживали микроабсцессы (рис. 4).

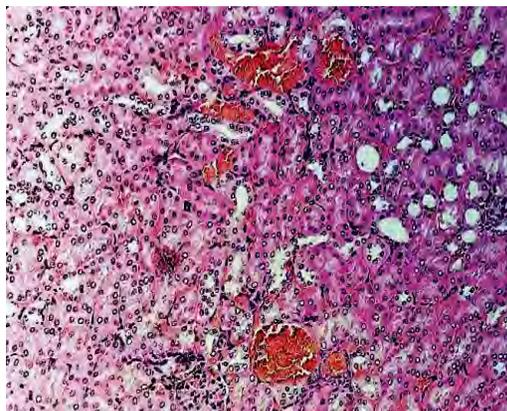


Рис. 4. Почки кролика при заражении бактериями *P. aeruginosa*.
Гематоксилин и эозин. Ок. 10, об. 20, H604 Trinocular Unico, USA
Источник: сделано авторами

Fig. 4. Rabbit kidneys when infected with bacteria *P. aeruginosa*. Hematoxylin and eosin.
Magnification: 10 × 20, H604 Trinocular Unico, USA
Source: made by the authors

Результаты собственных исследований и анализ данных литературы позволяет констатировать, что избыточный рост изолятов, продуцирующих адгезивные антигены, гемолизины и бактериоцины, следует рассматривать как прогностические маркеры дисплазии соединительной ткани. Наличие признаков легочно-кишечных, гепатотоксических и нефротоксических «перекрестных» патологий опосредованы особенностями лимфообращения органов. В частности, первичную функциональную защитную роль при бронхопневмонии выполняют лимфатические капилляры паренхимы легких [8]. Морфофункциональные риски развития энтеритов связаны с краниальным изгибом кишечника и особенностями подвздошно-слепо-ободочного соединения, а также гипоплазией слепо-ободочного клапана фитофагов [9]. Острая венозная гиперемия, кровоизлияния и тромбоз сосудов сопровождаются гипоплазией органов кроветворения [10, 11]. Диссеминация патогенных бактерий из легких в другие органы характеризуется развитием пневмонии, лейкопении, нейтропении, тромбоцитопении, гипотензии и полиорганной дисфункции [12, 13]. Резервы эффективных технологий кролиководства основаны на разработке средств специфической профилактики, в т. ч. и ассоциированных вакцин [14–16]. Для ингибирования избыточного роста перспективными признаны лекарственные и дезинфицирующие препараты композиционного типа действия, воздействующие на клеточную стенку и геном микроорганизмов [17–19]. Регулирующая значимость микроорганизмов учитывается как потенциальный механизм коррекции естественной резистентности системы «кишечник — легкие» и иммунная система [17, 20–22].

Заключение

Снижение компенсаторных механизмов мукоцилиарной системы клиренса и колонизационной резистентности слизистой оболочки полостных органов кроликов, зараженных бактериями *P. aeruginosa*, обуславливали развитие серозно-геморрагических отеков, воспалительные и гиперпластические процессы интерстициального гумморального транспорта и эвакуации лимфы. Установлены прямые коррелятивные зависимости ($r = 0,86$) показателей колонизационной резистентности и развития дисплазии соединительной ткани дыхательной и пищеварительной системы больных животных. При введении антигена развивались признаки диффузной пролиферации бронхопульмональной лимфоидной ткани. Установлено, что изменение количественного и видового состава эволюционно-сложившихся микробиоценозов сопряжены с развитием легочно-кишечных, гепатотоксических и нефротоксических «перекрестных» патологий.

Список литературы

1. Кудряшов А.А., Балабанова В.И., Левиант Т.Г. Причины смерти кроликов и шиншилл по секционным данным // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2017. № 1 (33). С. 53–58.
2. Velasco-Galilea M., Guivernau M., Piles M., Viñas M., Rafel O., Sánchez A., Ramayo-Caldas Y., González-Rodríguez O., Sánchez J.P. Breeding farm, level of feeding and presence of antibiotics in the feed influence rabbit cecal microbiota // Anim Microbiome. 2020. № 2 (1). P. 40. doi: 10.1186/s42523-020-00059-z

3. *Espinosa J., Ferreras M.C., Benavides J., Cuesta N., Pérez C., García Iglesias M.J., García Marín J.F., Pérez V.* Causes of Mortality and Disease in Rabbits and Hares: A Retrospective Study // *Animals (Basel)*. 2020. № 10(1). P. 158. doi: 10.3390/ani10010158
4. *Puón-Peláez X.-H.D., McEwan N.R., Álvarez-Martínez R.C., Mariscal-Landín G., Nava-Morales G.M., Mosqueda J., Olvera-Ramírez A.M.* Effect of Feeding Insoluble Fiber on the Microbiota and Metabolites of the Caecum and Feces of Rabbits Recovering from Epizootic Rabbit Enteropathy Relative to Non-Infected Rabbits // *Pathogens*. 2022. № 11 (5). P. 571. doi: 10.3390/pathogens11050571
5. *Cotozzolo E., Cremonesi P., Curone G., Menchetti L., Riva F., Biscarini F., Marongiu M.L., Castrica M., Castiglioni B., Miraglia D., Luridiana S., Brecchia G.* Characterization of Bacterial Microbiota Composition along the Gastrointestinal Tract in Rabbits // *Animals*. 2021. Vol. 11. № 1. P. 31. doi: 10.3390/ani11010031
6. *Ленченко Е.М., Кондакова И.А., Ломова Ю.В., Ватников Ю.А., Воронина Ю.Ю.* Иммунобиологические и морфофункциональные показатели при дисбактериозах кишечника кроликов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2018. Т. 13. № 2. С. 159–170. doi: 10.22363/2312-797X-2018-13-2-159-170
7. *Mulani M.S., Kamble E.E., Kumkar S.N., Tawre M.S., Pardesi K.R.* Emerging Strategies to Combat ESKAPE Pathogens in the Era of Antimicrobial Resistance: A Review // *Frontiers in microbiology*. 2019. № 10. P. 539. doi: 10.3389/fmicb.2019.00539
8. *Ткаченко Л.В.* Морфофункциональное значение лимфатических капилляров легкого кролика при экспериментальном антракозе // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 9 (167). С. 129–133.
9. *Слесаренко Н.А., Комякова В.А., Степанюшин В.В.* Морфофункциональное обоснование факторов риска возникновения энтеропатий у лабораторных животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2019. № 8. С. 16–24.
10. *Ковалев С.П., Овсянников А.Г., Киселенко П.С.* Изменения в гистологической картине костного мозга у кроликов при анемии // Международный вестник ветеринарии. 2017. № 1. С. 37–40.
11. *Кудряшов А.А., Левтеров Д.Е., Балабанова В.И.* Патоморфология вирусной геморрагической болезни кроликов // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2022. № 3 (55). С. 88–93. doi: 10.24412/2074-5036-2022-3-88-93
12. *Nguyen N.T.Q., Gras E., Tran N.D., Nguyen N.N.Y., Lam H.T.H., Weiss W.J., Doan T.N.M., Diep V.A.* *Pseudomonas aeruginosa* ventilator-associated pneumonia rabbit model for preclinical drug development // *Antimicrob Agents Chemother*. 2021. Vol. 65. № 7. P. e02724–20. doi: 10.1128/AAC.02724-20
13. *Trivedi S., Grossmann A.H., Jensen O., Cody M.J., Wahlig T.A., Hayakawa Serpa P., Langelier C., Warren K.J., Yost C.C., Leung D.T.* Intestinal Infection Is Associated With Impaired Lung Innate Immunity to Secondary Respiratory Infection // *Open Forum Infectious Diseases*. 2021. Vol. 8. № 6. P. ofab237. doi: 10.1093/ofid/ofab237
14. *Шевченко А.А., Шевченко Л.В., Черных О.Ю., Джаилиди Г.А., Зеркалев Д.Ю., Литвинова А.Р.* Способ изготовления вакцины, ассоциированной против псевдомоноза и вирусной геморрагической болезни кроликов. Патент № 2553557 Российская Федерация, МПК А61К 39/295 (2006.01) А61К 39/02 (2006.01) А61К 39/12 (2006.01). Кубанский государственный аграрный университет. № 2013131335/10. Заявл. 08.07.2013. Оpubл. 20.06.2015.
15. *Куникова Е.Д., Мороз Н.В., Долгова М.А., Малахова Л.В., Комаров И.А.* Отработка режимов инактивации вируса геморрагической болезни кроликов 1-го и 2-го типов // Ветеринария сегодня. 2021. № 1 (36). P. 22–28. doi: 10.29326/2304-196X-2021-1-36-22-28
16. *Пруцаков С.В., Кружнов Н.Н., Мирошниченко П.В., Скориков А.В., Шевченко А.Н.* Эпизоотология и терапия псевдомоноза // Сборник научных трудов КНЦЗВ. 2020. № 2 (9). С. 119–122. doi: 10.34617/r32x-hf32
17. *Lenchenko E., Sachivkina N., Lobaeva T., Zhabo N., Avdonina M.* Bird immunobiological parameters in the dissemination of the biofilm-forming bacteria *Escherichia coli* // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16. № 5. P. 1052–1060. doi: 10.14202/vetworld.2023.1052-1060
18. *Прунтова О.В., Русалеев В.С., Шадрова Н.Б.* Современное представление о механизмах антимикробной резистентности бактерий (аналитический обзор) // Ветеринария сегодня. 2022. № 1. С. 7–13. doi: 10.29326/2304-196x-2022-11-1-7-13
19. *Пименов Н.В., Капустин А.В., Петров В.А.* Сравнительные испытания бактериофага против сальмонелл полученных различными способами культивирования // Актуальные вопросы биологии, биотехнологии, ветеринарии, зоотехнии, товароведения и переработки сырья животного и растительного происхождения: материалы национальной науч.-практ. конф. 2019. С. 58–59.

20. Vatnikov Y., Shabunin S., Kulikov E., Karamyan A., Murylev V., Elizarov P., Kuznetsova O., Vasilieva E., Petukhov N., Shopinskaya M., Rudenko A., Rudenko P. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020. Vol. 12. Suppl. 2. P. 3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.sp2.373
21. Olabode I.R., Sachivkina N., Karamyan A., Маннапова R., Kuznetsova O., Bobunova A., Zhabo N., Avdonina M., Gurina R. In Vitro Activity of Farnesol against *Malassezia pachydermatis* Isolates from Otitis Externa Cases in Dogs // *Animals*. 2023. Vol. 13. № 7. P. 1259. doi: 10.3390/ani13071259
22. Ватников Ю.А., Руденко П.А., Бугров Н.С., Руденко А.А. Оценка эффективности терапии компенсированного дисбактериоза кишечника у кошек // *Аграрная наука*. 2022. № 1. С. 24–29. doi: 10.32634/08698155202235512429

References

1. Kudriashov AA, Balabanova VI, Leviant TG. Death causes of rabbits and chinchillas by sectional data. *Actual questions of veterinary biology*. 2017;(1):53–58. (In Russ.).
2. Velasco-Galilea M, Guivernau M, Piles M, Viñas M, Rafel O, Sánchez A. Breeding farm, level of feeding and presence of antibiotics in the feed influence rabbit cecal microbiota. *Animal Microbiome*. 2020;(2):40. doi: 10.1186/s42523-020-00059-z
3. Espinosa J, Ferreras MC, Benavides J, Cuesta N, Pérez C, García Iglesias MJ, et al. Causes of mortality and disease in rabbits and hares: a retrospective study. *Animals*. 2020;10(1):158. doi: 10.3390/ani10010158
4. Puón-Peláez XHD, McEwan NR, Álvarez-Martínez RC, Mariscal-Landín G, Nava-Morales GM, Mosqueda J, et al. Effect of feeding insoluble fiber on the microbiota and metabolites of the caecum and feces of rabbits recovering from epizootic rabbit enteropathy relative to non-infected rabbits. *Pathogens*. 2022;11(5):571. doi: 10.3390/pathogens11050571
5. Cotozzolo E, Cremonesi P, Curone G, Menchetti L, Riva F, Biscarini F, et al. Characterization of bacterial microbiota composition along the gastrointestinal tract in rabbits. *Animals*. 2021;11(1):31. doi: 10.3390/ani11010031
6. Lenchenko EM, Kondakova IA, Lomova YV, Vatnikov YA, Voronina YY. Immunobiological and morphofunctional indicators with dysbacteriosis of the intestine of rabbits. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2018;13(2):159–170. (In Russ.) doi 10.22363/2312-797X-2018-13-2-159-170
7. Mulani MS, Kamble EE, Kumkar SN, Tawre MS, Pardesi KR. Emerging strategies to combat ESKAPE pathogens in the era of antimicrobial resistance: a review. *Frontiers in microbiology*. 2019;10:539. doi: 10.3389/fmicb.2019.00539
8. Tkachenko LV. Morphofunctional significance of rabbit lung lymphatic capillaries at experimental anthracosis. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2018;(9):129–133. (In Russ.).
9. Slesarenko NA, Komyakova VA, Stepanishin VV. Morpho-functional substantiation of risk factors for the risk of enteropathies in laboratory animals. *Veterinary, zootechnics and biotechnology*. 2019;(8):6–15. (In Russ.). doi: 10.26155/VET.ZOO.BIO.201908001
10. Kovalev SP, Ovsjannikov AG, Kiselenko PS. Changes in bone marrow histology in rabbits by anemia. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2017;(1):37–40. (In Russ.).
11. Kudryashov AA, Levterov DE, Balabanova VI. Pathomorphology of viral hemorrhagic disease of rabbits. *Actual questions of veterinary biology*. 2022;(3):88–93. (In Russ.). doi: 10.24412/2074-5036-2022-3-88-93
12. Nguyen NTQ, Gras E, Tran ND, Nguyen NNY, Lam HTH, Weiss WJ, et al. *Pseudomonas aeruginosa* ventilator-associated pneumonia rabbit model for preclinical drug development. *Antimicrob Agents Chemother*. 2021;65(7): e02724–20. doi: 10.1128/AAC.02724-20
13. Trivedi S, Grossmann AH, Jensen O, Cody MJ, Wahlig TA, Serpa PH, et al. Intestinal infection is associated with impaired lung innate immunity to secondary respiratory infection. *Open Forum Infectious Diseases*. 2021;8(6): ofab237. doi: 10.1093/ofid/ofab237
14. Shevchenko AA, Shevchenko LV, Chernykh OY, Dzhailidi GA, Zerkalev DY, Litvinova AR. *Sposob izgotovleniya vaksiny, assotsirovannoi protiv psevdomonozha i virusnoi gemorragicheskoi bolezni krolikov* [A method for producing a vaccine associated with pseudomonosis and viral hemorrhagic disease of rabbits]. Patent RUS, no. 2553557, 2013. (In Russ.).
15. Kunikova ED, Moroz NV, Dolgova MA, Malakhova LV, Komarov IA. Optimization of rhdv type 1 and 2 inactivation modes. *Veterinary Science Today*. 2021;(1):22–28. (In Russ.). doi: 10.29326/2304-196X-2021-1-36-22-28

16. Prutsakov SV, Kruzhnov NN, Miroshnichenko PV, Skorikov AV, Shevchenko AN. Epizootology and therapy of pseudomonosis. *Collection of scientific works of the KSCZV*. 2020;9(2):119–122. (In Russ.). doi: 10.34617/r32x-hf32
17. Lenchenko E, Sachivkina N, Lobaeva T, Zhabo N, Avdonina M. Bird immunobiological parameters in the dissemination of the biofilm-forming bacteria *Escherichia coli*. *Veterinary World*. 2023;16(5):1052–1060. doi: 10.14202/vetworld.2023.1052-1060
18. Pruntova OV, Rusaleyev VS, Shadrova NB. Modern understanding of the mechanisms of antimicrobial resistance of bacteria (analytical review). *Veterinary Science Today*. 2022;11(1):7–13. (In Russ.). doi: 10.29326/2304-196x-2022-11-1-7-13
19. Pimenov NV, Kapustin AV, Petrov VA. Comparative tests of bacteriophage against *Salmonella* obtained by various methods of cultivation. *Current issues of biology, biotechnology, veterinary medicine, animal science, commodity science and processing of raw materials of animal and plant origin: conference proceedings*. 2019. p.58–59. (In Russ.).
20. Vatnikov Y, Shabunin S, Kulikov E, Karamyan A, Murylev V, Elizarov P, et al. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(Suppl. 2):3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.sp2.373
21. Olabode IR, Sachivkina N, Karamyan A, Mannapova R, Kuznetsova O, Bobunova A, et al. In vitro activity of farnesol against *Malassezia pachydermatis* isolates from otitis externa cases in dogs. *Animals*. 2023;13(7):1259. doi: 10.3390/ani13071259
22. Vatnikov YA, Rudenko PA, Bugrov NS, Rudenko AA. Evaluation of the effectiveness of therapy for compensated intestinal dysbiosis in cats. *Agrarian Science*. 2022;(1):24–29. doi: 10.32634/0869-8155-2022-355-1-24-29

Об авторах:

Ленченко Екатерина Михайловна — доктор ветеринарных наук, профессор, кафедра ветеринарной медицины, институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское ш., д. 11; e-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2576-2020

Толмачева Галина Сергеевна — инженер-исследователь, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Российская Федерация, 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26; e-mail: tgs2991@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9937-320X

About authors:

Lenchenko Ekaterina Mikhailovna — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Veterinary Medicine, Institute of Veterinary Medicine, Veterinary and Sanitary Expertise and Agricultural Safety, Russian Biotechnological University (RosBioTech), 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation; e-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-2576-2020

Tolmacheva Galina Sergeevna — Research engineer, Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26 Talalikhina st., Moscow, 109316, Russian Federation; e-mail: tgs2991@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9937-320X



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-4-591-603

EDN: NQMYPE

УДК 616.351–006.55:617–085:636.7

Научная статья / Research article

Оперативное лечение тубулярной аденомы прямой кишки у собаки

А.В. Назарова , Б.С. Семенов  , Т.Ш. Кузнецова 

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
 bsstepana@rambler.ru

Аннотация. Отражены результаты изучения возможных оперативных приемов при лечении аденоматозных полипов у собак и их эффективность для поддержания здоровья и качества жизни животного. Исследование проведено на основе клинического случая хирургического лечения тубулярной аденомы (ТА) ампулы прямой кишки у одиннадцатилетнего кобеля ирландского сеттера, поступившего на прием по поводу гематохезии. При проведении колоноскопии было выявлено новообразование на стенке кишечника. На основании данных цитологического и гистологического исследований биопсийного материала пациенту был поставлен диагноз «тубулярная аденома прямой кишки». По результатам проведенной пациенту компьютерной томографии выявлено объемное образование в анатомическом расположении ампулы прямой кишки, его размеры 57×18,3×18,3 мм. На основании данных сегментацией тканей собаке была спланирована и выполнена полностенная резекция ампулы прямой кишки через дорсальный доступ. В ранний послеоперационный период были зарегистрированы тенезмы (с уменьшением их выраженности в течение недели после операции) и частичное недержание кала. Самым серьезным осложнением стало множественное формирование новых дефектов кишки краниальнее накладываемых анастомозов, что потребовало проведения еще трех операций. Для декомпрессии колоректального анастомоза собаке была выведена временная двустольная колостома с опорой на стержень. Проведенное исследование показало, что несмотря на относительно редкую инцидентность ТА у собак, изучение и сравнение современных методов ее диагностики, хирургического лечения и профилактики послеоперационных осложнений и рецидивов опухоли — актуальная задача как вследствие возможности малигнизации ТА, так и того, что собаки являются естественной биологической моделью для изучения этой патологии.

Ключевые слова: воспалительный колоректальный полип, аденоматозный полип, колоректальный рак, колостома

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

© Назарова А.В., Семенов Б.С., Кузнецова Т.Ш., 2023



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

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

История статьи: поступила в редакцию 5 сентября 2023 г., принята к публикации 12 октября 2023 г.

Для цитирования: Назарова А.В., Семенов Б.С., Кузнецова Т.Ш. Оперативное лечение тубулярной аденомы прямой кишки у собаки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 4. С. 591—603. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-591-603

Surgical treatment of colorectal tubular adenoma in dog

Anna V. Nazarova , Boris S. Semenov  , Tatyana S. Kuznetsova 

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russian Federation
 bsstepana@rambler.ru

Abstract. The surgical methods for treatment of adenomatous polyps in dogs and their effectiveness for maintaining health and quality of life of the animal were studied. The study was conducted on the clinical case of colorectal tubular adenoma (TA) surgical treatment in a 11-year-old male Irish setter who was admitted for hematochezia. A colonoscopy revealed a colon wall neoplasm. Based on the data of cytological and histological examination of the biopsy material, the patient was diagnosed with «tubular adenoma of the rectum». Computed tomography revealed a mass 57×18.3×18.3 mm in the rectal ampoule. After tissue segmentation, to make a therapeutic decision about the possibility of surgical resection and access, the ampoule of the rectum was resected through dorsal access. In the early postoperative period, tenesmus (with a decrease in their severity within a week after surgery) and partial fecal incontinence were recorded. The most serious complication was the formation of several more defects of the colon wall cranially from the superimposed anastomoses, which required three more operations. To decompress the colorectal anastomosis, a temporary flank double-barrelled colostomy with a support bridge was performed. The study revealed that despite the relatively rare incidence of TA in dogs, the comparison investigation of diagnosis and surgical treatment methods and avoiding postoperative complications and tumor recurrence is a relevant task both due to the possibility of TA malignancy and due to the fact that dogs are a naturally biological model for investigating this pathology.

Key words: inflammatory colorectal polyps, adenomatous polyps of the colon, colorectal cancer, colostomy

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest.

Article history: Received: 5 September 2023. Accepted: 12 October 2023.

For citation: Nazarova AV, Semenov BS, Kuznetsova TS. Surgical treatment of colorectal tubular adenoma in dog. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(4):591—603. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-3-591-603

Введение

Тубулярная аденома (ТА) — распространенный тип полипов толстой кишки. Обычно это полипоидное образование, развивающееся из железистого эпителия слизистой оболочки толстой или прямой кишки, характеризующееся тубулярным строением и признаками дисплазии клеток. Кроме человека, единственным другим видом, у которого естественным образом с определенной частотой развивается

рак кишечника, является собака домашняя [1]. В исследовании [2] из 46 полипов желудочно-кишечного тракта 43 (93,5 %) были гистопатологически диагностированы как аденомы или аденокарциномы.

Одним из признанных факторов риска развития ТА как у человека, так и у собак, является наследственная предрасположенность. Так, воспалительные коло ректальные полипы недавно были признаны породоспецифичным заболеванием для миниатюрных такс [3] и джек-рассел-терьеров [4].

Японские ученые идентифицируют полипы желудочно-кишечного тракта у собак породы джек-рассел-терьер как наследственное заболевание [5]. Они определили, что собаки этой породы, у которых был идентифицирован полипоз прямой кишки, имели гетерозиготную мутацию гена APC зародышевой линии клеток. Мутации представляют собой две полинуклеотидные замены (с.[462A>T; 463A>T]). Последняя замена является бессмысленной мутацией, приводящей к усечению белка APC, что предполагает связь данной мутации с образованием неопластических полипов и высокой вероятностью колоректального рака у собак [6].

Известно, что у человека мутации в гене APC приводят к развитию семейного аденоматозного полипоза толстой кишки. Ген APC (Adenomatous Polyposis Coli gene) является геном-супрессором опухолевого роста. Мутации распределены по всему гену APC, и большая часть из них — это мутации сдвига рамки считывания, меньший процент приходится на точковые нонсенс-мутации и делеции. Причем у разных пациентов мутации могут отличаться, но в любом случае касаются гена APC [7]. Белок APC играет ключевую роль в работе wnt-сигнального пути, способствует деградации β -катенина в цитоплазме клеток. Функции белка APC касаются миграции клеток, адгезии, сегрегации хромосом, сборке веретена деления, апоптозе и дифференцировке нейронов. В результате мутаций формируется укороченный или неполноценный белок APC. β -катенин накапливается в цитоплазме и ядре, активирует транскрипцию генов и онкогенов, контролирующих деление клеток [8].

Результаты вышеуказанных исследований демонстрируют, что, несмотря на различия между заболеваниями человека и собаки, мутации гена APC зародышевой линии клеток являются предрасполагающим фактором к неопластическим полипам желудочно-кишечного тракта как у собак, так и у людей.

Другими факторами риска считаются воспалительные заболевания толстой кишки (язвенный колит, болезнь Крона) [9], ожирение и малоподвижный образ жизни [10].

Хотя аденокарциномы кишки достаточно редки у собак, при отсутствии лечения ТА способна переродиться в тубулопапиллярную аденокарциному с развитием перитонеального карциноматоза и множественных метастатических очагов в толстой кишке, мочевом пузыре, почках, подвздошных лимфатических узлах, печени и легких [11].

Макроскопический тип ТА (на ножке или на широком основании, так называемые «сидячие» или плоские полипы) не влияет на риск малигнизации, в отличие от размера. Считается, что ТА больше 1 см более склонны к озлокачествлению и развитию рака толстой кишки [12]. Сидячие ТА прикреплены к слизистой обо-

лочке кишки по всей площади широкого основания и чаще бывают большого размера (от 5 см и более).

Дифференцировать ТА необходимо от лимфомы (включая колоректальную фолликулярную лимфому), карциномы [13, 14].

Цель исследования — изучить возможные оперативные приемы при лечении тубулярной аденомы у собаки и их эффективность для поддержания здоровья и качества жизни животного.

Материалы и методы исследования

Представлен клинический случай хирургического лечения тубулярной аденомы ампулы прямой кишки у собаки породы ирландский сеттер, кобель, возраст 11 лет. У животного была замечена кровь в кале. При паразитологическом исследовании кала обнаружены патогенные простейшие (*Giardia*), назначено лечение, при повторном паразитологическом исследовании простейшие не обнаружены. Однако кровь в кале сохранялась.

Собаке выполнена колоноскопия со взятием материала на цитологическое и гистологическое исследования, которые провели в лаборатории Vet Union. Дополнительно проведена компьютерная томография с внутривенным контрастированием на компьютерном томографе Philips mx 16 (Китай). Сегментация для планирования операции выполнена в программе 3d Slicer.

Проведено оперативное удаление пораженного участка кишки через дорсальный доступ без ампутации хвоста. При оперативном вмешательстве кишка выделена до входа в таз. Ректально определена краниальная граница опухоли. Рассечены мышцы: прямокишечно-копчиковая мышца и подниматели ануса. Тупым способом разрушены связки прямой кишки с тазовым дном. Кишка мобилизована таким образом, чтобы краниальная граница опухоли находилась каудальнее входа в таз. С помощью медицинского лазера выполнена резекция прямой кишки (каудальная граница резекции примерно в 2 см от наружного анального сфинктера; лазер использовался для повышения абластичности резекции). Краниальный край резекции выполнен под визуальным контролем с границами 5 мм в пределах здоровых тканей. На кишку наложен анастомоз конец в конец. Задняя губа анастомоза: шов Ламбера + скорняжный шов. Передняя губа анастомоза: шов Шмидена + шов Ламбера. Ушиты прямокишечно-копчиковая мышца и подниматели ануса. Ушиты ткани тазового дна вокруг прямой кишки (узловатые швы). Установлены два активных дренажа.

Через два дня после операции пациент был выписан из стационара в стабильном состоянии. Со слов владельцев животное активное, гуляет хорошо, стул произвольный, оформленный, но постоянные тенезмы. Швы сухие.

На третий день после операции тенезмы менее выражены, кал оформленный, видимой крови нет, швы сухие, по дренажам отток умеренный, собака активная, гуляет с удовольствием.

На четвертый день после операции утром на прогулке хозяйка заметила кровь в кале и вокруг ануса. При клиническом исследовании животного в клинике выпол-

нены ревизия послеоперационной раны и ректальный осмотр, обнаружен дефект стенки прямой кишки краниальнее анастомоза. Было принято решение о создании нового кишечного анастомоза.

При последующих наблюдениях отмечена произвольная дефекация на прогулках, иногда недержание кала дома (во сне). Тенезмы менее выражены по сравнению с первой операцией. Швы состоятельные, сухие.

Через шесть дней после повторной операции обратились в клинику по поводу обильного кровотечения из швов справа. На момент осмотра кровотечение купировалось самостоятельно. Кал и газы отходят свободно, в прямой кишке крови нет.

Через 14 дней после повторной операции на фоне полного сращения швов и перианальных мягких тканей на всю толщину на дорсальной стороне прямой кишки краниально от предыдущего анастомоза выявлен дефект стенки кишки до 2 см длиной. Дефект полностью ушит узловыми швами (контроль прохождения иглы ректально). При проверке герметичности подтекания на момент закрытия нет (нагнетание жидкости в кишку с визуальным контролем операционной раны).

Через четыре дня после третьего ушивания кишки снова выявлен дефект стенки прямой кишки. Принято решение о закрытии дефекта с одновременным формированием двустольной колостомы. Варианты последующих операций были обсуждены с владельцами.

Во время операции также выполнена мобилизация ободочной кишки до входа в тазовую область (подготовка к последующим вмешательствам). Под ободочную кишку подведен турникет в межсосудистом пространстве. По дорсальной границе прямой мышцы живота слева выполнено отверстие (диаметром в 2 пальца) с крестообразным разрезом мышц брюшной стенки, с помощью турникета в отверстие выведен участок ободочной кишки (приводящая петля — вентрально, отводящая — дорсально). Выполнен непрерывный серозно-мышечный шов между кишкой и мышцами брюшной стенки. Под кишкой оставлена трубка (от капельной системы) для создания временной опоры кишки. Просвет кишки вскрыт, стенка кишки (с выворачиванием слизистой) подшита к коже узловыми швами (Полипропилен 4/0).

Через три дня для облегчения ухода за колостомой кожа выше нее была подшита к низлежащим мышцам боковой брюшной стенки, чтобы кожная складка не мешала клеить калоприемник, наложено несколько простых узловых швов на место крепления поддерживающей трубочки (выпала самостоятельно при обработке).

Через 17 дней после формирования колостомы были сняты швы и удалены дренажи.

Результаты исследования и обсуждение

Согласно литературным данным 90 % ТА развиваются бессимптомно, в 10 % случаев симптомы неспецифичны: дисхезия, перемежающаяся диарея, мелена. Наиболее частый симптом — кровотечение из нижних отделов ЖКТ, которое на ранних стадиях является микроскопическим. Видимая кровь в кале обнаруживается

в случае значительных по размеру ТА, которые развивались в течение нескольких лет (причем риск злокачественности в этих случаях выше). Вследствие изменения в стенке кишки может развиваться диарея, а при ТА большого размера может наблюдаться лентообразный стул или развиваться констипация. В редких случаях развивается абдоминальная боль или выпадение прямой кишки из-за ТА [15, 16].

Основным методом диагностики ТА считается колоноскопия с забором биопсийного материала [17, 18].

Результаты колоноскопии. При колоноскопии у собаки была отмечена эластичность стенки прямой кишки и значительное сужение ее просвета. Слизистая оболочка красного цвета с неровной поверхностью. Сосудистый рисунок выраженный. Кишечное содержимое незначительное, жидкой консистенции, черного цвета. В связи с сужением прямой кишки более детальный осмотр затруднителен. В осмотренных отделах толстой кишки выявлено новообразование на стенке кишечника, неподвижное, рыхлой консистенции, вызывающее сужение кишки.

Цитологическое описание мазков-отпечатков слизистой оболочки прямой кишки (лаборатория Vet Union): в материале на фоне слизи представлено большое количество (5–7 скоплений на п. з. при ув. 100) скоплений клеток кубического эпителия кишечника. Ядра овальные и округлые среднего размера (14...18 мкм), иногда с неровным контуром мембраны, содержат зернистый и крупнозернистый хроматин, цитоплазма умеренная базофильная. Клетки воспаления не представлены. Также на фоне слизи визуализируется обильное количество полиморфных кокковидных и палочковидных бактерий (7–30 в п. з. при ув. 1000). Заключение: эпителий кишечника со слабыми признаками атипии, бактериальное обсеменение.

Гистологическое описание препарата (лаборатория Vet Union): присутствуют фрагменты эпителиального образования слизистой оболочки, построенного из множественных тубулярных эпителиальных структур со слабо развитой отечной фиброваскулярной стромой. Эпителий гиперплазирован, клетки столбчатой формы, с умеренным количеством эозинофильной цитоплазмы и апикальным овальным ядром с 1–2 небольшими нуклеолами. Митозы встречаются редко. Поддерживающая строма диффузно неравномерно инфильтрирована лимфоцитами и плазмócитами. Заключение: тубулярная аденома прямой кишки.

Однако в связи с тем, что аденомы (включая ТА) являются единственными полипами, потенциально способными к длительной малигнизации, в последнее время в медицине получили развитие методы эндоскопического увеличения и хромоэндоскопии, которые делают ненужным проведение биопсии для постановки окончательного диагноза, а кроме того, позволяют проводить раннюю диагностику ТА, что значительно улучшает прогноз пациентов.

Компьютерная томография с последующей сегментацией тканей дает возможность более точного планирования операции (по сравнению с проведением только колоноскопии). По результатам проведенной пациенту КТ выявлено объемное образование в анатомическом расположении ампулы прямой кишки, его размеры 57×18,3×18,3 мм (длина × ширина × высота). Контрастный препарат распределен гетерогенно. Края неровные. Толщина пораженного отдела кишечника до 3 мм.

Просвет кишки перекрывает на 75...95 % ее объема. Патологической коллатерали от региональных артерий не выявлено. Подкрестцовые и подвздошные лимфатические узлы без особенностей (рис. 1).

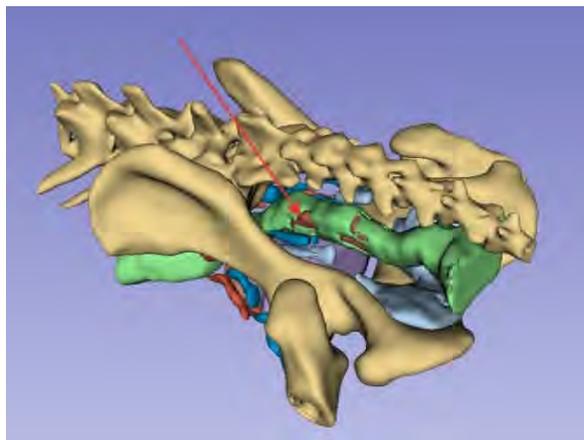


Рис. 1. Сегментация тканей в программе 3D Slicer для планирования операции
Источник: сделано авторами

Fig. 1. Tissues segmentation with 3d Slicer for surgery planning
Source: made by the authors

Поскольку около 5 % ТА перерождаются в рак, рекомендуется хирургическая резекция каждого диагностированного полипа. Метод резекции зависит от макроскопического типа и количества полипов, их локализации и размера.

При небольших полипах на ножке возможна эндоскопическая полипэктомия [19]. В случае множественных, крупных ТА и/или «сидячих» ТА и ТА с признаками малигнизации рекомендуется выполнять колэктомия (резекцию толстой кишки). Объем вмешательства (гемиколэктомия или тотальная колэктомия) зависит от локализации и распространенности поражения [20].

В рассматриваемом клиническом случае была диагностирована «сидячая» форма ТА, поэтому пациенту была выполнена полностенная резекция ампулы прямой кишки. В связи с большой протяженностью опухоли был выбран дорсальный доступ к прямой кишке (ампутация хвоста для увеличения доступа рассматривалась при планировании операции, но интраоперационно не потребовалась) (рис. 2).

По литературным данным у 78,4 % собак после резекции прямой кишки развиваются послеоперационные осложнения, наиболее распространенным из которых является недержание кала (56,8 %, у 54,8 % из них — постоянное). Другие регистрируемые осложнения включают диарею, тенезмы, образование стриктур, ректальное кровотечение, констипацию, несостоятельность анастомоза и инфекцию [21–23]. В рассматриваемом клиническом случае были зарегистрированы тенезмы (с уменьшением их выраженности в течение недели после операции) и частичное недержание кала.



Рис. 2. Интраоперационная фотография резецированной ампулы прямой кишки
Источник: сделано авторами

Fig. 2. Intraoperative photo of the resected rectal ampoule
Source: made by the authors

Самым серьезным осложнением стало множественное формирование новых дефектов кишки краниальнее накладываемых анастомозов (рис. 3), что привело к решению о формировании колостомы.



Рис. 3. Интраоперационная фотография краниальной части прямой кишки на держалках
Источник: сделано авторами

Fig. 3. Intraoperative photo of the cranial part of rectum on holders
Source: made by the authors

Варианты формирования временной колостомы после многократного расхождения и/или для декомпрессии колоректального анастомоза описаны в литературе [24, 25]. Повторная операция на толстой кишке и устранение колостомы

в таких случаях рекомендуется не ранее 90 дней после операции. Также описаны различные варианты хирургического лечения расхождения несостоятельности колоректального анастомоза, например использование трансплантата тощей кишки на сосудистой ножке для устранения натяжения [26].

Некоторые авторы [27] при неудовлетворительных результатах первой операции предлагают формировать постоянную концевую колостому и ампутировать прямую кишку, анус и кожу перинеальной области.

В описываемом клиническом случае колостомы собаке была выведена на левом боку с опорой на стержень (рис. 4), так как согласно литературным данным [28, 29] боковой доступ имеет преимущества перед вентральным.



Рис. 4. Интраоперационная фотография сформированной колостомы у собаки

Источник: сделано авторами

Fig. 4. Intraoperative photo of epy formed colostomy in a dog

Source: made by the authors

В исследовании [30] непрерывный кисетный шов ассоциирован с более низкой частотой инфицирования участка стомы, поэтому при формировании колостомы между кишкой и мышцами брюшной стенки был наложен непрерывный серозно-мышечный шов.

Результаты контролируемого исследования [31], проведенного на 12 собаках показали, что использование поддержки при формировании петлевой колостомы снижает количество перистомальных и стомальных осложнений, а также интенсивность боли в течение первой недели после операции. Поэтому при формировании колостомы была использована трубочка от капельной системы для временной опоры кишки.

Поскольку установленная на поверхности кожи трубка через два дня выпала при обработке колостомы, в последующем мы планируем устанавливать поддерживающие трубки в подкожную клетчатку [32] для улучшения послеоперацион-

ного периода, в т.ч. для профилактики выпадения поддерживающей трубки при обработках.

Однако надо отметить, что у человека, как показали результаты контролируемого рандомизированного исследования [33], в которое был включен 151 пациент с колостомой, частота таких осложнений, как некроз стомы, отек, застойные явления, и вызванная ими повторная госпитализация были достоверно выше в группе, где использовался поддерживающий стержень для петлевой колостомы. Поэтому вопрос о целесообразности создания опоры для кишки при формировании петлевой колостомы у собак требует дальнейших исследований.

На момент написания статьи собака находится в удовлетворительном состоянии, отмечается набор веса, хороший аппетит, мочеиспускание без особенностей, дефекация через колостому, физиологические показатели и показатели клинического и биохимического анализов крови в пределах референсных значений.

После хирургического удаления рекомендуется эндоскопический контроль каждые 2–5 лет, поскольку существует вероятность того, что будут развиваться новые ТА [31].

По данным [21, 23], опухоли прямой кишки рецидивируют после хирургического удаления у 8,7...13,5 % собак. Среднее время выживаемости собак в исследовании [23] составило 1150 дней для всех собак и 726 дней для собак со злокачественными опухолями. Выявлены два наиболее распространенных образования прямой кишки — карцинома прямой кишки и карцинома прямой кишки *in situ*, и у собак с этими опухолями медиана выживаемости составила 696 и 1006 дней соответственно. В исследовании [21] средний безрецидивный период составил 36,8 месяцев (5...84 месяца).

Поскольку при колоректальных аденомах обнаружена повышенная экспрессия циклооксигеназы-2 (СОХ-2), применение селективных НПВП позволяет увеличить безрецидивный период [35–38].

Заключение

Несмотря на то, что тубулярная аденома не часто диагностируется у собак, изучение и сравнение современных методов ее диагностики, методов хирургического лечения и профилактики послеоперационных осложнений и рецидивов опухоли является актуальной задачей, как вследствие возможности малигнизации ТА, так и того, что собаки — естественная биологическая модель для изучения этой патологии.

Библиографический список/ References

1. Mcentee MF, Cates JM, Neilsen N. Cyclooxygenase-2 expression in spontaneous intestinal neoplasia of domestic dogs. *Veterinary pathology*. 2002;39(4):428–436. doi: 10.1354/vp.39-4-428
2. Yoshizaki K, Hirata A, Matsushita H, Sakaguchi M, Yoneji W, Owaki K, et al. Molecular epidemiological study of germline APC variant associated with hereditary gastrointestinal polyposis in dogs: current frequency in Jack Russell Terriers in Japan and breed distribution. *BMC Veterinary Research*. 2022;18(1):230. doi: 10.1186/s12917-022-03338-w

3. Igarashi H, Ohno K, Matsuki N, Fujiwara-Igarashi A, Kanemoto H, Fukushima K, et al. Analysis of fecal short chain fatty acid concentration in miniature dachshunds with inflammatory colorectal polyps. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2017;79(10):1727–1734. doi: 10.1292/jvms.17-0165
4. Yoshizaki K, Hirata A, Matsushita H, Sakaguchi M, Yoneji W, Owaki K, Sakai H. Molecular epidemiological study of germline APC variant associated with hereditary gastrointestinal polyposis in dogs: current frequency in Jack Russell Terriers in Japan and breed distribution. *BMC Veterinary Research*. 2022;18(1):230. doi: 10.1186/s12917-022-03338-w
5. Ohmi A, Ohno K, Chambers JK, Uchida K, Nakagawa T, Tomiyasu H, Tsujimoto H. Clinical and histopathological features and prognosis of gastrointestinal adenocarcinomas in Jack Russell Terriers. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2021;83(2):167–173. doi: 10.1292/jvms.20-0421
6. Yoneji W, Yoshizaki K, Hirata A, Yoneji K, Sakai H. Clinical and pathological diagnosis of hereditary gastrointestinal polyposis in Jack Russell Terriers. *Veterinary Sciences*. 2022;9(10):551. doi: 10.3390/vetsci9100551
7. Музаффарова Т.А., Карпухин А.В. Особенности мутаций в гене APC // *Universum: Медицина и фармакология: электрон. научн. журн*. 2016. № 11(33). Режим доступа: <http://universum.com/ru/med/archive/item/3859> Дата обращения: 12.08.2023.
Muzaffarova TA, Karpukhin AV. Features of mutations in APC gene. *Universum: Medicine and Pharmacology*. 2016;(11). Available from: <http://universum.com/ru/med/archive/item/3859> (In Russ.).
8. Гамисония А.М. Ген APC // *ГЕНОКАРТА Генетическая энциклопедия*. 2019. Режим доступа: <https://www.genokarta.ru/gene/APC> Дата обращения: 12.08.2023.
Gamisonia AM. Gene APC. *GENOCARD Genetic Encyclopedia*. 2019. Available from: <https://www.genokarta.ru/gene/APC> (In Russ.).
9. Zhang Y, Pu W, Bousquenaud M, Cattin S, Zaric J, Sun LK, et al. Emodin inhibits inflammation, carcinogenesis, and cancer progression in the AOM/DSS Model of Colitis-Associated Intestinal Tumorigenesis. *Front Oncol*. 2021;10:564674. doi: 10.3389/fonc.2020.564674
10. Herstad KMV, Moen AEF, Gaby JC, Moe L, Skancke E. Characterization of the fecal and mucosa-associated microbiota in dogs with colorectal epithelial tumors. *PLoS One*. 2018;13(5): e0198342. doi: 10.1371/journal.pone.0198342
11. Oliveira AR, Flecher MC, Horta RS, Souza MCC, Hardt I, Gonçalves ABB, et al. Tubulopapillary rectal adenocarcinoma in dog: clinical, surgical, pathological and immunophenotypical aspects: case report. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2018;70:463–468. doi: 10.1590/1678-4162-9459
12. Noshirwani KC, Van Stolk RU, Rybicki LA, Beck GJ. Adenoma size and number are predictive of adenoma recurrence: implications for surveillance colonoscopy. *Gastrointestinal Endoscopy*. 2000;51(4–1):433–437. doi: 10.1016/S0016-5107(00)70444-5
13. Willard MD. Alimentary neoplasia in geriatric dogs and cats. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 2012;42(4):693–706. doi: 10.1016/j.cvsm.2012.04.006
14. Richardson MA, Thaiwong T, Kiupel M. Primary colorectal follicular lymphoma in 3 dogs. *Vet Pathol*. 2019;56(3):404–408. doi: 10.1177/0300985818823775
15. Seiler RJ. Colorectal polyps of the dog: a clinicopathologic study of 17 cases. *J Am Vet Med Assoc*. 1979;174(1):72–75.
16. Levine JS, Ahnen DJ. Adenomatous polyps of the colon. *New England Journal of Medicine*. 2006;355(24):2551–2557. doi: 10.1056/NEJMc063038
17. Adamovich-Rippe KN, Mayhew PD, Marks SL, Selmic LE, Culp WT, Youello AM, et al. Colonoscopic and histologic features of rectal masses in dogs: 82 cases (1995–2012). *J Am Vet Med Assoc*. 2017;250(4):424–430. doi: 10.2460/javma.250.4.424
18. Wolff E, Van Vertloo L, Salisbury SK, Childress MO. Obturator-assisted prolapse for access to and sampling of colorectal masses in seven dogs. *J Am Anim Hosp Assoc*. 2020;56(3): e563–02. doi: 10.5326/JAAHA-MS-6961
19. Cantatore M, Jimeno Sandoval JC, Das S, Sesana A, Charlesworth T, Ryan T, et al. Submucosal resection via a transanal approach for treatment of epithelial rectal tumors — a multicenter study. *Vet Surg*. 2022;51(3):397–408. doi: 10.1111/vsu.13766
20. Dumont F, Mariani A, Elias D, Goéré D. Surgical strategy for low rectal cancers. *J Visc Surg*. 2015;152(1):23–31. doi: 10.1016/j.jviscsurg.2014.10.005
21. Danova NA, Robles-Emanuelli JC, Bjorling DE. Surgical excision of primary canine rectal tumors by an anal approach in twenty-three dogs. *Vet Surg*. 2006;35(4):337–340. doi: 10.1111/j.1532-950X.2006.00154.x
22. Morello E, Martano M, Squassino C, Iussich S, Caccamo R, Sammartano F, et al. Transanal pull-through rectal amputation for treatment of colorectal carcinoma in 11 dogs. *Vet Surg*. 2008;37(5):420–426. doi: 10.1111/j.1532-950X.2008.00404.x

23. Nucci DJ, Liptak JM, Selmic LE, Culp WT, Durant AM, Worley D, et al. Complications and outcomes following rectal pull-through surgery in dogs with rectal masses: 74 cases (2000–2013). *J Am Vet Med Assoc*. 2014;245(6):684–695. doi: 10.2460/javma.245.6.684
24. Güenaga KF, Lustosa SA, Saad SS, Saconato H, Matos D. Ileostomy or colostomy for temporary decompression of colorectal anastomosis. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007; (1): CD004647. doi: 10.1002/14651858.CD004647.pub2
25. Cinti F, Pisani G. Temporary end-on colostomy as a treatment for anastomotic dehiscence after a transanal rectal pull-through procedure in a dog. *Vet Surg*. 2019;48(5):897–901. doi: 10.1111/vsu.13152
26. Falerno I, Collivignarelli F, Vignoli M, Paolini A, Tamburro R. The use of a vascularized pedicle jejunal graft as a treatment for anastomosis dehiscence after transanal pull-through, with a combined approach, in two dogs. *Clin Case Rep*. 2021;9(8): e04182. doi: 10.1002/ccr3.4182
27. Kumagai D, Shimada T, Yamate J, Ohashi F. Use of an incontinent end-on colostomy in a dog with annular rectal adenocarcinoma. *J Small Anim Pract*. 2003;44(8):363–366. doi: 10.1111/j.1748-5827.2003.tb00169.x
28. Hardie EM, Gilson SD. Use of colostomy to manage rectal disease in dogs. *Vet Surg*. 1997;26(4):270–274. doi: 10.1111/j.1532-950x.1997.tb01498.x
29. Bloemendaal ALA, Kraus R, Buchs NC, Hamdy FC, Hompes R, Cogswell L, et al. Double-barrelled wet colostomy formation after pelvic exenteration for locally advanced or recurrent rectal cancer. 2016;18(11): O427—O431 doi: 10.1111/codi.13512 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/codi.13512>
30. Han J, Wang Z, Wei G, Zhai Z, Ma L, Yi B, et al. Application of modified purse-string closure in the wound following loop stoma reversal. *Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery*. 2018;21(12):1403–1407. (In Chinese).
31. Samy A, Abdalla A, Rizk A. Evaluation of short-term loop colostomy in dogs using conventional and supporting subcutaneous silicone drain techniques. *J Adv Vet Anim Res*. 2020;7(4):685–691. doi: 10.5455/javar.2020.g468
32. Harish K. The loop stoma bridge — a new technique. *J Gastrointest Surg*. 2008;12(5):958–961. doi: 10.1007/s11605-007-0413-7
33. Franklyn J, Varghese G, Mittal R, Rebekah G, Jesudason MR, Perakath B. A prospective randomized controlled trial comparing early postoperative complications in patients undergoing loop colostomy with and without a stoma rod. *Colorectal Dis*. 2017;19(7):675–680. doi: 10.1111/codi.13600
34. Lieberman DA, Weiss DG, Harford WV, Ahnen DJ, Provenzale D, Sontag SJ, et al. Five-year colon surveillance after screening colonoscopy. *Gastroenterology*. 2007;133(4):1077–1085. doi: 10.1053/j.gastro.2007.07.006
35. Adegboyega PA, Ololade O, Saada J, Mifflin R, Di Mari JF, Powell DW. Subepithelial myofibroblasts express cyclooxygenase-2 in colorectal tubular adenomas. *Clin Cancer Res*. 2004;10(17):5870–5879. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-0431-03
36. Peek RM. Prevention of colorectal cancer through the use of COX-2 selective inhibitors. *Cancer Chemother Pharmacol*. 2004;54(Suppl 1): S50—S56. doi: 10.1007/s00280-004-0887-x
37. Juan TK, Liu KC, Kuo CL, Yang MD, Chu YL, Yang JL, et al. Tetrandrine suppresses adhesion, migration and invasion of human colon cancer SW620 cells via inhibition of nuclear factor- κ B, matrix metalloproteinase-2 and matrix metalloproteinase-9 signaling pathways. *Oncol Lett*. 2018;15(5):7716–7724. doi: 10.3892/ol.2018.8286
38. Punganuru SR, Madala HR, Mikelis CM, Dixit A, Arutla V, Srivenugopal KS. Conception, synthesis, and characterization of a rofecoxib-combretastatin hybrid drug with potent cyclooxygenase-2 (COX-2) inhibiting and microtubule disrupting activities in colon cancer cell culture and xenograft models. *Oncotarget*. 2018;9(40):26109–26129. doi: 10.18632/oncotarget.25450

Об авторах:

Назарова Анна Вениаминовна — кандидат ветеринарных наук, ассистент кафедры общей, частной и оперативной хирургии, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 196084, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: anna.v.nazarova@mail.ru ORCID: 0000-0003-4726-6204 SPIN 8388–6880

Семенов Борис Степанович — доктор ветеринарных наук, профессор кафедры общей, частной и оперативной хирургии, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 196084, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: bsstepana@rambler.ru ORCID: 0000-0003-0149-9360 SPIN 3640–3949

Кузнецова Татьяна Шамильевна — кандидат биологических наук, доцент кафедры генетических и репродуктивных биотехнологий, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, 196084, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: kuznett@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8981-0696 SPIN 1240–5278

About authors:

Nazarova Anna Veniaminovna — Candidate of Veterinary Sciences, Assistant, Department of General, Private and Operative Surgery, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya st., St. Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: anna.v.nazarova@mail.ru
ORCID: 0000-0003-4726-6204 SPIN 8388–6880

Semenov Boris Stepanovich — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of General, Private and Operative Surgery, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya st., St. Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: bsstepana@rambler.ru
ORCID: 0000-0003-0149-9360 SPIN 3640–3949

Kuznetsova Tatyana Shamilyevna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Genetic and Reproductive Biotechnologies, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya st., St. Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: kuznett@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8981-0696 SPIN 1240–5278

