



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2024 Том 19 № 1

**Факторы устойчивой продуктивности животных:
от геномики до терапии**

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1
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

Азизи 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

Валентини Р., д-р биол. наук, проф., лауреат Нобелевской премии мира (2007), Университет Тушин, 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., ФНЦО 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

Дубенко 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

Ковес 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

Мохамади-Неджд 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 исследований в различных регионах мира, так и по составу редакционной коллегии и экспертного совета (рецензентов). Журнал предназначен для публикаций результатов фундаментальных и прикладных научных исследований российских и зарубежных ученых в виде оригинальных научных статей, обзорных научных материалов, научных сообщений, библиографических обзоров по определенным темам научных исследований. Также журнал публикует и распространяет результаты фундаментальных и прикладных исследований, проводимых в коллаборации отечественных и зарубежных ученых по приоритетным проблемам сельскохозяйственной отрасли. В журнале могут быть опубликованы материалы, научная ценность которых и пригодность для публикации оценена рецензентами и редакционной коллегией журнала. Во всех материалах должны соблюдаться этические нормы научных публикаций.

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

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 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. Агрехимия, 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>

Редактор: *О.В. Горячева*

Редактор англоязычных текстов: *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 27.03.2024. Выход в свет 30.03.2024. Формат 70×100/16.

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

Усл. печ. л. 15,6. Тираж 500 экз. Заказ № 13. 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

2024 VOLUME 19 No. 1

**Factors of sustainable animal productivity:
from genomics to therapy**

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1
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

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

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. Kuznyakov — 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. Solovyov — 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>

Editor *O.V. Goryacheva*
English text editor *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

Факторы устойчивой продуктивности животных: от геномики до терапии

От редакции	9
Убушиева В.С., Горлов И.Ф., Чимидова Н.В., Убушиева А.В. Микросателлитный анализ крупного рогатого скота калмыцкой породы.....	12
Шеховцев Г.С. Пути повышения молочной продуктивности красной горбатовской породы	19
Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М. Влияние микотоксинов на качественные показатели молока у коров в условиях крупного животноводческого комплекса	30
Шепелева К.В., Петров А.К., Рогов Р.В., Куликов Е.В., Крючков И.А. Терапевтическая эффективность противомаститных препаратов в лечении субклинической и клинической форм мастита дойных коров.....	39
Фирсов Г.М., Ряднов А.А., Ряднова Т.А., Морозова З.Ч., Будтуев О.В. Устойчивость к противомикробным препаратам возбудителей маститов крупного рогатого скота	51

Растениеводство

Воронкова Н.А., Цыганова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Пахотина И.В. Применение азотных удобрений под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве в Омском Прииртышье	61
--	----

Генетика и селекция растений

Зобнина И.В., Корелина В.А., Батакова О.Б. Оценка стабильности и пластичности голозерных форм овса ярового по урожайности и массе 1000 зерен в условиях Северного региона	76
Николаев П.Н., Юсова О.А., Васюкевич С.В. Новые перспективные пленчатые линии ярового овса в Омском аграрном научном центре	90
Ульяновская Е.В., Чернуцкая Е.А., Балапанов И.М., Степанов И.В. Оценка полиморфизма гена <i>Md-ACS1</i> яблони для выделения идентифицированного состава генофонда и селекции на длительную лежкость плодов.....	101

Защита растений

- Lyashko M.U., Saquee F.S., Diakite S., Chukwunyere E.O., Gaisina E.M.** Impact of fungicides on potato pathogens in the Tambov region of the Russian Federation (Влияние фунгицидов на развитие болезней картофеля в Тамбовской области Российской Федерации)..... 111
- Платонов В.А., Чудинова Е.М., Еланский С.Н.** Адаптация технологии защиты растений с учетом грибо-бактериальных ассоциаций..... 122
- Подгорная М.Е., Диденко Н.А., Прах С.В., Васильченко А.В.** Оценка биологической эффективности инсектицидов в контроле численности грушевой медяницы 128
- Тараканов Р.И., Евсеев П.В., Трошин К.С., Игнатов А.Н., Джалилов Ф.С.-У.** Разнообразие штаммов возбудителя бактериального ожога сои *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* в РФ 139

Защитное лесоразведение

- Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Борцов В.А., Скотт С.А.** Антропогенное влияние на стабильность развития лесных культур березы повислой *Betula pendula* Roth в зеленой зоне г. Астаны ... 155

Ветеринария

- Mardaryev A.N., Mardaryev N.S., Mardaryeva N.V., Shchiptsova N.V.** The role of Wnt and Shh signaling systems in noggin induced tumorigenesis (Роль сигнальных систем Wnt и Shh в ноггин-индуцированном туморогенезе) ... 165
- Шайхулов Р.Р., Маннапова Р.Т., Свистунов Д.В.** Механизм формирования и становления продуктами пчеловодства микробиоты кишечника здоровых и больных кандидамикозами птиц 176

Contents

Factors of sustainable animal productivity: from genomics to therapy

From the editor	9
Ubushieva V.S., Gorlov I.F., Chimidova N.V., Ubushieva A.V. Microsatellite analysis of Kalmyk cattle.....	12
Shekhovtsev G.S. Ways to increase milk productivity of Red Gorbatov breed.....	19
Gnezdilova L.A., Fedotov S.V., Muradyan Z.Y., Rozinsky S.M. The influence of mycotoxins on quality indicators of milk in cows in a large livestock complex.....	30
Shepeleva K.V., Petrov A.K., Rogov R.V., Kulikov E.V., Kryuchkov I.A. Therapeutic efficacy of antimastitis drugs in the treatment of subclinical and clinical forms of dairy cow mastitis.....	39
Firsov G.M., Ryadnov A.A., Ryadnova T.A., Morozova Z.C., Budtuev O.V. Antimicrobial resistance of bovine mastitis pathogens	51

Crop production

Voronkova N.A., Tsyganova N.A., Balabanova N.F., Volkova V.A., Pakhotina I.V. Application of nitrogen fertilizers to spring wheat on meadow-chernozem soil in the Omsk Irtysh region	61
--	----

Genetics and plant breeding

Zobnina I.V., Korelina V.A., Batakova O.B. Assessment of stability and plasticity of hulless spring oat varieties by yield and 1000 seed weight in the Northern Russia....	76
Nikolaev P.N., Yusova O.A., Vasyukevich S.V. New perspective hulled spring oat lines in Omsk agricultural research center.....	90
Ulianovskaya E.V., Chernutskaya E.A., Balapanov I.M., Stepanov I.V. Evaluation of <i>Md-ACS1</i> gene polymorphism in apple trees for isolation of the identified composition of gene pool and breeding for long-storage fruits.....	101

Plant protection

Lyashko M.U., Saquee F.S., Diakite S., Chukwunyere E.O., Gaisina E.M. Impact of fungicides on potato pathogens in the Tambov region of the Russian Federation 111

Platonov V.A., Chudinova E.M., Elansky S.N. Adaptation of plant protection technology considering fungal-bacterial associations..... 122

Podgornaya M.E., Didenko N.A., Prah S.V., Vasilchenko A.V. Biological effectiveness of insecticides in pear psylla control..... 128

Tarakanov R.I., Evseev P.V., Troshin K.S., Ignatov A.N., Dzhililov F.S.U. Diversity of soybean bacterial blight pathogen *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in the Russian Federation..... 139

Protective afforestation

Kabanova S.A., Kochegarov I.S., Kabanov A.N., Danchenko M.A., Shakhmatov P.F., Bortsov V.A., Scott S.A. Anthropogenic impact on stability of forest crops development of silver birch *Betula pendula* Roth in the green zone of Astana 155

Veterinary science

Mardaryev A.N., Mardaryev N.S., Mardaryeva N.V., Shchiptsova N.V. The role of Wnt and Shh signaling systems in noggin induced tumorigenesis..... 165

Shaykhulov P.R., Mannapova R.T., Svistunov D.V. Influence of bee products on intestinal microbiota formation in healthy birds and birds with candidiasis 176



Факторы устойчивой продуктивности животных: от геномики до терапии

Factors of sustainable animal productivity: from genomics to therapy

От редакции

В научных статьях, представленных в специальной теме номера, раскрываются важные для практического животноводства вопросы влияния генетических факторов и условий кормления на физиологическое состояние сельскохозяйственных животных, их здоровье и качество производимой ими продукции.

В статье «*Микросателлитный анализ крупного рогатого скота калмыцкой породы*» на основе изучения генетического разнообразия популяций КРС калмыцкой породы с использованием микросателлитного анализа генов, авторы установили, что у исследуемого стада калмыцкой породы отмечается высокий уровень генетического разнообразия. А это указывает на возможность проведения качественного отбора наиболее ценных производителей в условиях ведения интенсивной маркерной селекции животных.

Вариант повышения молочной продуктивности КРС с использованием нестареющего классического метода разведения животных представлен в материалах научной статьи «*Пути повышения молочной продуктивности красной горбатовской породы*». Авторы подробно описывают результаты скрещивания животных красной горбатовской породы с животными англеской и красной датской породами КРС. В исследовании констатируется, что помесные животные превосходили чистопородных как по количеству молока (от 5,7 до 12,5 %), так и по содержанию массовой доли жира в молоке (в среднем на 0,02 %). Хотя необходимо отметить высокую вариабельность признаков внутри каждой группы.

Актуальным остается вопрос «*влияния микотоксинов на качественные показатели молока у коров в условиях крупного животноводческого комплекса*». Авторы одноименной работы показывают достоверное влияние высокой концентрации микотоксинов в рационах лактирующих коров на метаболизм аминокислот, ухудшение гематологических и биохимических показателей крови, снижение молочной продуктивности и изменение качественных показателей молока. Мастит коров, как отрицательный фактор, который снижает молочную продуктивность коров и наносит значительный экономический ущерб предприятиям перерабатывающей промышленности, достаточно широко распространен в молочных стадах КРС в РФ. Авторы статьи «*Терапевтическая эффективность противомаститных*

препаратов в лечении субклинической и клинической форм мастита дойных коров» изучили эффективность ветеринарных противомаститных препаратов в сравнительном аспекте при лечении субклинического и клинического маститов дойных коров и пришли к выводу, что применение препарата «Мамикур» в качестве монотерапии серозно-катарального клинического и субклинического маститов у коров хорошо переносится животными и дает положительный эффект при интрацистернальном введении в объеме одного шприца-дозатора трехкратно с интервалом 12 часов. А в работе «Устойчивость к противомикробным препаратам возбудителей маститов крупного рогатого скота» авторы при проведении анализа на чувствительность к противомикробным препаратам 1206 образцов молока от коров голштино-фризской породы на агаре Мюллера — Хинтона в модифицированном диско-диффузном методе Кирби — Бауэра установили, что постоянный мониторинг устойчивости к противомикробным препаратам возбудителей маститов КРС способствует более эффективному подбору терапии клинических маститов.

Таким образом, комплексный подход к решению проблем животноводства, складывающийся из различных, но дополняющих друг друга составляющих, — залог целостной системы устойчивого повышения продуктивности животных, необходимой для обеспечения высокой калорийности рационов питания населения, оптимального количества доступных калорий в безопасных пищевых продуктах. К важнейшим из таких составляющих относятся анализ генетического разнообразия популяций, поиск путей повышения молочной продуктивности, ветеринарное сопровождение каждого этапа этого сложного процесса.

Ю.А. Ватников,
главный редактор

ENG

From the editor

The scientific articles presented in the special topic of the issue reveal problems that are important for practical animal husbandry: influence of genetic factors and feeding conditions on physiological state of farm animals, their health and quality of products they produce.

In the article “Microsatellite analysis of Kalmyk cattle”, based on a study of genetic diversity of Kalmyk cattle populations using microsatellite gene analysis, the authors found that the studied Kalmyk herd has a high level of genetic diversity. Hence, this indicates the possibility of carrying out a high-quality selection of the most valuable producers in conditions of intensive marker selection of animals.

Increasing milk productivity of cattle using the timeless classical method of breeding animals was presented in the article “Ways to increase milk productivity of Red Gorbатов

breed”. The authors described in detail the results of crossing animals of the Red Gorbatov breed with animals of the Angler and Red Danish breeds of cattle. The study revealed that crossbred animals were superior to purebred animals both in the amount of milk (5.7 to 12.5 %) and in the content of mass fraction of fat in milk (on average by 0.02 %). Although, it is necessary to note the high variability of characteristics within each group.

The issue of “Influence of mycotoxins on milk quality indicators in cows in the conditions of large livestock complex” remains relevant. The authors of the research showed a significant effect of high concentrations of mycotoxins in diets of lactating cows on metabolism of amino acids, deterioration of hematological and biochemical blood parameters, decrease in milk productivity and changes in quality parameters of milk. Bovine mastitis, as a negative factor that reduces milk productivity of cows and causes significant economic damage to processing industry enterprises, is quite widespread in dairy herds of cattle in the Russian Federation. In the article “Therapeutic efficacy of antimastitis drugs in the treatment of subclinical and clinical forms of mastitis in dairy cows” the authors studied the comparative effectiveness of veterinary antimastitis drugs in the treatment of subclinical and clinical mastitis in dairy cows. They concluded that the use of Mamikur as monotherapy for serous-catarrhal clinical and subclinical mastitis in cows is well tolerated by animals and gives a positive effect when administered intracisternally in the volume of one dispensing syringe three times with an interval of 12 hours. Also, in the research “Antimicrobial resistance of bovine mastitis pathogens” the authors analyzed 1206 milk samples from Holstein-Friesian cows for sensitivity to antimicrobial drugs on Muller — Hinton agar in modified Kirby — Bauer disk-diffusion method. It was established that constant monitoring of antimicrobial resistance of bovine mastitis pathogens contributes to more effective selection of therapy for clinical mastitis.

Thus, an integrated approach to solving problems of livestock husbandry, consisting of different but complementary components, is the key to an integral system of sustainable increase in animal productivity, which is necessary to ensure high human diet caloric content, optimal amount of available calories in safe food products. The most important of these components include analysis of genetic diversity of cattle populations, search for ways to increase milk productivity, and veterinary support at each stage of this complex process.

*Yuri A. Vatnikov,
editor-in-chief*



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-12-18

EDN: BIJLFM

УДК 636.082.13

Научная статья / Research article

Микросателлитный анализ крупного рогатого скота калмыцкой породы

В.С. Убушиева¹  , И.Ф. Горлов² , Н.В. Чимидова¹ , А.В. Убушиева¹ ¹Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова, г. Элиста,
Российская Федерация²Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки
мясомолочной продукции, г. Волгоград, Российская Федерация
 vicki_93g@mail.ru

Аннотация. Развитие специализированного мясного скотоводства способствует увеличению производства продукции говядины, что напрямую влияет на продовольственную безопасность страны. Увеличение продуктивности животных — основное направление развития современного скотоводства, что в свою очередь требует совершенствования племенного дела. Эффективность племенной работы зависит от оценки генетической ценности племенных животных. Племенная работа ведется при обязательном контроле достоверности происхождения животных. Одним из основных направлений скотоводства в Калмыкии является племенное разведение крупного рогатого скота (КРС) калмыцкой породы. Цель исследования — изучение генетического разнообразия популяций КРС калмыцкой породы с использованием микросателлитного анализа. Исследование было проведено на базе Регионального научно-производственного центра по воспроизводству Калмыцкого государственного университета. Для исследования был взят КРС калмыцкой породы, принадлежащий СПК «Плодовитое» Малодербетовского района, в количестве 60 голов, проведен ПЦР-анализ по 9 микросателлитным локусам: BM1824, BM 2113, INRA023, SPS 115, TGLA 122, TGLA 126, TGLA 227, ETH 10, ETH 225. Установлено, что среднее число аллелей составляет 10,1, при этом число аллелей на локус варьировалось от 7 (BM 1824, SPS 115, ETH 10) до 18 (TGLA 122). Локусы с наибольшим диапазоном аллелей — BM 2113 (12), INRA 023 (12), TGLA 122 (18) и TGLA 227 (12). Наиболее информативными оказались локусы INRA 023, TGLA 122 и TGLA 227. Уровень наблюдаемой гетерозиготности варьировал от 0,67 (ETH 10) до 0,83 (SPS 115, TGLA 227, ETH 225), а показатели ожидаемой — 0,86 (BM 1824, SPS 115, ETH 10) ... 0,92 (BM 2113, INRA 023, TGLA 227). Анализ данных показателя индекса фиксации показал, что у 8 локусов данный показатель отрицательный (BM 1824 (–0,22), BM 2113 (–0,26), INRA 023 (–0,26), SPS 115 (–0,18), TGLA 122 (–0,12), TGLA 126 (–0,10), ETH 10 (–0,28), ETH 225 (–0,04) и у 1 локуса (TGLA 227) положительный (1,0). Результаты проведенного анализа по микросателлитным локусам показали, что у исследуемого стада КРС калмыцкой породы уровень генетического разнообразия высок.

Ключевые слова: калмыцкий скот, микросателлиты, генетическое разнообразие, гетерозиготность, полиморфизм

© Убушиева В.С., Горлов И.Ф., Чимидова Н.В., Убушиева А.В., 2024

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. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075–03–2022–119/1 «Особенности организации генома крупного рогатого скота мясных пород, ассоциированных с высоким адаптивным и продуктивным потенциалом, на основе высокополиморфных генетических маркеров»).

История статьи: поступила в редакцию 18 августа 2023 г., принята к публикации 8 ноября 2023 г.

Для цитирования: Убушиева В.С., Горлов И.Ф., Чимидова Н.В., Убушиева А.В. Микросателлитный анализ крупного рогатого скота калмыцкой породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 12–18. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-12-18

Microsatellite analysis of Kalmyk cattle

Viktoria S. Ubushieva¹  , Ivan F. Gorlov² , Nadezhda V. Chimidova¹ ,
Altana V. Ubushieva¹ 

¹Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov, *Elista, Russian Federation*

²Volga Region Research Institute of Meat and Milk Production and Processing, *Volgograd, Russian Federation*

 vicki_93g@mail.ru

Abstract. Development of specialized beef cattle breeding contributes to increase in beef production, which directly affects the country's food security. Currently, increasing productivity of animals is the major trend of cattle breeding development, which in turn requires improvement of breeding. The effectiveness of breeding work depends on the assessment of genetic value of breeding animals. To control authenticity of animal origin is a prerequisite for conducting breeding work. One of the main directions of cattle breeding in Kalmykia is breeding of Kalmyk cattle. The aim of the research was to study genetic diversity of Kalmyk cattle populations using microsatellite analysis. The study was conducted in the Regional Research and Production Center for Reproduction of Kalmyk State University. 60 Kalmyk cattle from 'Plodovitoe' agricultural production company in Maloderbetovskiy district were studied. PCR analysis was performed by 9 microsatellite loci: BM1824, BM 2113, INRA023, SPS 115, TGLA 122, TGLA 126, TGLA 227, ETH 10, ETH 225. It was found that the average number of alleles was 10.1, while the number of alleles per locus varied from 7 (BM 1824, SPS 115, ETH 10) to 18 (TGLA 122). The loci with the largest range of alleles were BM 2113 (12), INRA 023 (12), TGLA 122 (18) and TGLA 227 (12). The most informative loci were INRA 023, TGLA 122 and TGLA 227. The level of observed heterozygosity varied from 0.67 (ETH 10) to 0.83 (SPS 115, TGLA 227, ETH 225), and expected heterozygosity — from 0.86 (BM 1824, SPS 115, ETH 10) to 0.92 (BM 2113, INRA 023, TGLA 227). Analysis of fixation index data showed that 8 loci had negative index (BM 1824 (–0.22), BM 2113 (–0.26), INRA 023 (–0.26), SPS 115 (–0.18), TGLA 122 (–0.12), TGLA 126 (–0.10), ETH 10 (–0.28), ETH 225 (–0.04) and 1 locus (TGLA 227) had positive index (1.0). The results of the analysis of microsatellite loci showed that level of genetic diversity in the studied herd of Kalmyk cattle is high.

Key words: Kalmyk breed, microsatellites, genetic diversity, heterozygosity, polymorphism

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Funding. The work was performed on a government assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for 2022–2024 by Kalmyk State University (no. 075–03–2022–119/1).

Article history: Received: 18 August 2023. Accepted: 8 November 2023.

For citation: Ubushieva VS, Gorlov IF, Chimidova NV, Ubushieva AV. Microsatellite analysis of Kalmyk cattle. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):12–18. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-12-18

Введение

Мясное скотоводство — одно из приоритетных направлений сельского хозяйства в России и играет важную роль в развитии агропромышленного комплекса [1, 2]. Развитие специализированного мясного скотоводства способствует увеличению производства продукции говядины, что напрямую влияет на продовольственную безопасность страны [3]. Увеличение продуктивности животных является основным направлением скотоводства [4], что в свою очередь требует совершенствования племенного дела.

Эффективность племенной работы зависит от такого фактора, как оценка генетической ценности племенных животных. Обязательным условием ведения племенной работы является контроль достоверности происхождения животных. Генетическая сертификация животных стала необходимой процедурой племенного учета и надежным методом идентификации во многих странах [5]. Для установления происхождения животных наиболее эффективен и точен молекулярно-генетический анализ сателлитной ДНК [6, 7]. Она представляет собой последовательности, которые повторяются множество раз в геноме [8, 9]. Каждая повторяющаяся последовательность называется мотивом, состоящим из коротких нуклеотидных повторов [10]. Эти мотивы ограничены уникальными последовательностями, называемыми однокопийными [11]. Одним из наиболее информативных типов сателлитной ДНК являются микросателлитные последовательности, также известные как STR-локусы (STR — short tandem repeat). Эти последовательности состоят из повторов коротких мотивов, которые различаются по числу повторов [12]. Методы молекулярной генетики, основанные на анализе сателлитной ДНК, стали ценным инструментом для селекции животных. Они позволяют более точно определить генетически ценных особей и использовать их для развития более продуктивных и устойчивых поголовий скота [5, 13].

Изучение генетических различий между линиями, племенными стадами важно при чистопородном разведении. Исследование генетического разнообразия позволяет нам понять, насколько различаются гены внутри популяции и между популяциями. Это имеет большое значение для определения генетической основы породных качеств и эффективной селекции [14].

Одним из основных направлений скотоводства в Калмыкии является племенное разведение крупного рогатого скота (КРС) калмыцкой породы. Калмыцкий скот — специализированная порода, отличающаяся высокими продуктивными качествами, крепкой конституцией, относительным долголетием, выносливостью. Кроме того, КРС калмыцкой породы устойчив к неблагоприятным природно-климатическим условиям, неприхотлив в содержании и кормлении. Вышеперечисленные факты позволяют утверждать об уникальности данной породы [15, 16].

Цель исследования — изучение генетического разнообразия популяций крупного рогатого скота калмыцкой породы с использованием микросателлитного анализа.

Материалы и методы исследования

Исследование было проведено на базе Регионального научно-производственного центра по воспроизводству Калмыцкого государственного университета. Для исследования взяли КРС калмыцкой породы, принадлежащий СПК «Плодовитое» Малодербетовского района, в количестве 60 голов. Генетическое тестирование проводили с помощью молекулярно-генетического анализа, с целью контроля достоверности происхождения и идентификации животных на основе ПЦР-анализа по 9 микросателлитным локусам: BM1824, BM 2113, INRA023, SPS 115, TGLA 122, TGLA 126, TGLA 227ETH 10, ETH 225.

Материалом для молекулярно-генетического анализа служила цельная кровь, взятая из яремной вены. Для выделения ДНК использовали набор реагентов «М-Сорб» Синтол (на магнитных частицах). Выделение ДНК из цельной крови проводили согласно стандартному протоколу набора. Для амплификации выделенных ДНК использовали набор реагентов «Синтол» с целью проведения полимеразной цепной реакции и смесь праймеров. Полимеразная цепная реакция проводилась на амплификаторе Bio-Rad C1000 Touch thermal cycler, режимы амплификации были подобраны в зависимости от специфичности каждой пары праймеров.

Полученные ПЦР-продукты детектировали электрофоретическим разделением на агарозном геле с использованием набора AmpliSens. Детекцию проводили в камере горизонтального электрофореза Wide Mini-Sub Cell GT. Визуализация проводилась с помощью системы гель-документирования Clinx Science Instruments ChemiScope 6200Touch.

При обработке экспериментальных данных использовали офисный программный комплекс Microsoft Office с применением программы Excel (Microsoft, США).

Все использованные в анализе микросателлитные локусы принадлежат к перечню, рекомендованному международным обществом генетики животных (ISAG).

Результаты исследований и обсуждение

Генетический анализ популяции калмыцкого скота породы СПК ПР «Плодовитое» проведен с использованием микросателлитных локусов. Результаты исследования показали наличие генетического разнообразия в данной популяции.

Характеристика STR-анализа КРС была проведена по следующим показателям: диапазон аллелей, число аллелей на локус, число информативных аллелей на локус, частота встречаемости, ожидаемая гетерозиготность.

Нами установлено, что среднее число аллелей составляет 10,1, при этом число аллелей на локус варьировалось от 7 (BM 1824, SPS 115, ETH 10) до 18 (TGLA 122) (рис. 1). Локусы BM 2113, INRA 023, TGLA 122 и TGLA 227 имеют наибольший диапазон аллелей, а число аллелей на локус составляет соответственно 12, 12, 18 и 12. Наиболее информативными для калмыцкой породы оказались локусы

INRA 023, TGLA 122 и TGLA 227. Средняя частота встречаемости одного аллеля на исследуемый локус варьировала от 0,06 до 0,14 (рис. 2).

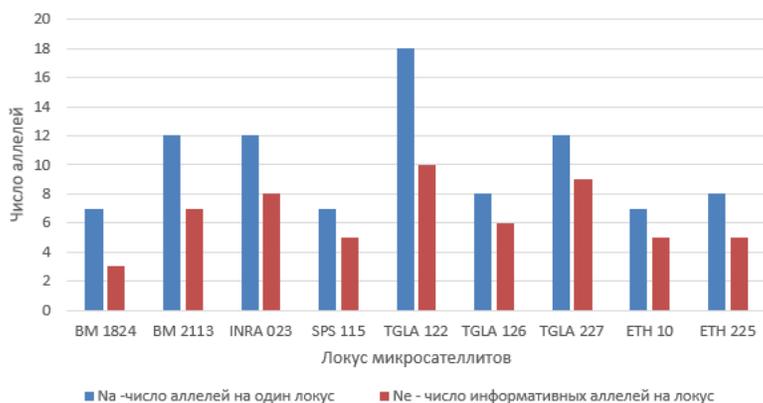


Рис. 1. Количество аллелей в изучаемых локусах

Источник: сделано авторами

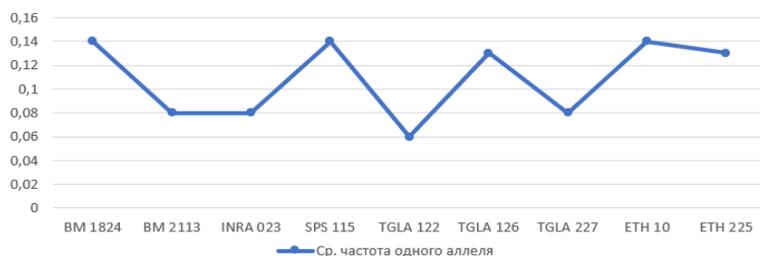


Рис. 2. Частота встречаемости аллелей

Источник: сделано авторами

Анализ гетерозиготности позволяет оценить генетическую дифференциацию. Уровень наблюдаемой гетерозиготности варьировал от 0,67 (ETH 10) до 0,83 (SPS 115, TGLA 227, ETH 225), а показатели ожидаемой — 0,86 (BM 1824, SPS 115, ETH 10) ... 0,92 (BM 2113, INRA 023, TGLA 227) (рис. 3).

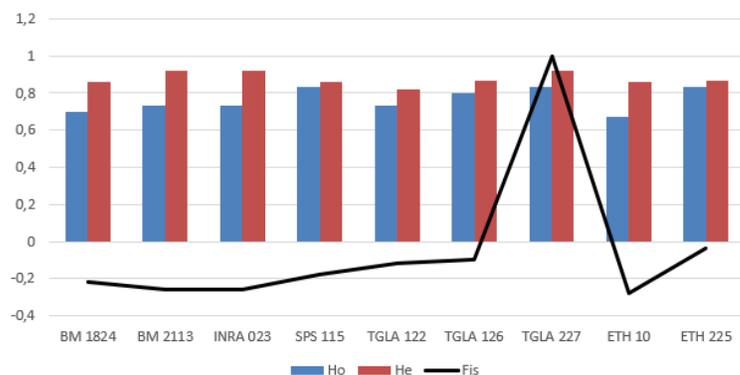


Рис. 3. Уровень гетерозиготности

Источник: сделано авторами

Сравнение ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности у калмыцкого скота показало, что у всех 9 исследуемых локусов показатели ожидаемой гетерозиготности превышают наблюдаемую.

Для многих микросателлитных локусов показателем избытка или недостатка гетерозигот является индекс фиксации. Положительное значение индекса говорит о нехватке гетерозигот, отрицательное — об избытке. Анализ данных показателя индекса фиксации показал, что у 8 локусов данный показатель отрицательный (BM 1824 (–0,22), BM 2113 (–0,26), INRA 023 (–0,26), SPS 115 (–0,18), TGLA 122 (–0,12), TGLA 126 (–0,10), ETH 10 (–0,28), ETH 225 (–0,04) и у 1 локуса (TGLA 227) положительный (1,0).

Таким образом, результаты проведенного молекулярно-генетического анализа по микросателлитным локусам показали, что у исследуемого стада КРС калмыцкой породы уровень генетического разнообразия высок.

Заключение

1. Мы установили, что среднее число аллелей составляет 10,1 в 9 исследуемых STR-локусах крупного рогатого скота калмыцкой породы, с частотой встречаемости одного аллеля 0,06...0,14. Уровень наблюдаемой гетерозиготности варьировал от 0,67 до 0,83, а показатели ожидаемой — 0,86...0,92. Показатель индекса фиксации у 8 локусов отрицательный (от –0,28 до 0,04) и у 1 локуса (TGLA 227) положительный (1,0).

2. Результаты исследования микросателлитных локусов калмыцкой породы свидетельствует о том, что аллелофонд породы разнообразен. В целях дальнейшего улучшения породы в будущем необходимо исследовать генетическую структуру калмыцкой породы.

Список литературы

1. Кузьмина Т.Н. Перспективы развития отечественного мясного скотоводства // Техника и технологии в животноводстве. 2019. № 2 (34). С. 92–99.
2. Кузьмин В.Н., Кузьмина Т.Н. Состояние мясного скотоводства Российской Федерации // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 3 (39). С. 4–10.
3. Воденников О.Г., Яркова Т.М. Роль мясного скотоводства в обеспечении продовольственной безопасности региона // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 1 (45). С. 94–101. doi: 10.24411/1999-6837-2018-11015
4. Горлов И.Ф., Шахбазова О.П., Раджабов Р.Г., Иванова Н.В., Мосолова Д.А. Эффективность производства говядины в Ростовской области // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 231–238.
5. Танана Л.А., Епишко О.А., Глинская Н.А. STR-локусы в контроле происхождения крупного рогатого скота белорусской черно-пестрой породы // Сборник научных трудов ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. 2014. Т. 2. № 7. С. 204–207.
6. Хабибрахманова Я.А., Калашникова Л.А., Голубков А.И., Лефлер Т.Ф., Голубков А.А., Мирвалиев Ф.С. Генетический полиморфизм голштинских быков ОАО «Красноярскагроплем» на основе микросателлитных маркеров ДНК // Вестник КрасГАУ. 2019. № 3. С. 135–140.
7. Глинская Н.А., Танана Л.А., Епишко О.А., Каспирович Д.А. Оптимизация протокола str-маркирования крупного рогатого скота при установлении происхождения потомков // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2014. № 2. С. 17–24.

8. Кузнецов В.М. Сравнение методов оценки генетической дифференциации популяций по микросателлитным маркерам // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 2. С. 169–182. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.169-182
9. Jarne P., Lagoda P.J.L. Microsatellites, from molecules to populations and back // Trends Ecol. Evol. 1996. Vol. 11. № 10. P. 424–429. doi: 10.1016/0169-5347(96)10049-5
10. Глазко В.И., Глазко Г.В. Введение в генетику, биоинформатика, ДНК-технология, генная терапия, ДНК-экология, протеомика, метаболика / под ред. Т.Т. Глазко. М.: КУРС, 2023. 656 с.
11. Maudet C., Luikart G., Taberlet P. Genetic diversity and assignment tests among seven French cattle breeds based on microsatellite DNA analysis // J Anim Sci. 2002. Vol. 80. № 4. P. 942–950. doi: 10.2527/2002.804942x
12. Kojima K., Kawai Y., Misawa K., Mimori T., Nagasaki M. STR-realigner: a realignment method for short tandem repeat regions // BMC Genomics. 2016. Vol. 17. № 1. 991. doi: 10.1186/s12864-016-3294-x
13. Зиновьева Н.А., Гладырь Е.А. Генетическая экспертиза сельскохозяйственных животных: применение тест-систем на основе микросателлитов // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 9. С. 19–20.
14. Смарагдов М.Г. Полногеномная оценка межстадного генетического различия крупного рогатого скота // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 4. С. 47–49. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10411
15. Чимидова Н.В., Убушиева А.В., Убушиева В.С., Сангаджиев Р.Д. Зоотехническая характеристика калмыцкого скота в условиях племенного репродуктора // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей LXI Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2022. С. 88–93.
16. Отаров А. Калмыцкая порода: особенности и преимущества // Животноводство России. 2018. № 2. С. 75–76.

Об авторах:

Убушиева Виктория Саналовна — научный сотрудник молодежной лаборатории, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова», Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, 4 к. КалмГУ; e-mail: vicki_93g@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0320-7771 SPIN-код: 1991-8614

Горлов Иван Федорович — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», Российская Федерация, 400131, г. Волгоград, ул. имени Маршала Рокоссовского, д. 6, e-mail: niimpr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8683-8159 SPIN-код: 8249-9437

Чимидова Надежда Васильевна — заведующая молодежной лабораторией, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова», Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, 4 к. КалмГУ; e-mail: nadezhdatchimidova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3043-091X SPIN-код: 3221-7432

Убушиева Алтана Вадимовна — научный сотрудник молодежной лаборатории, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова», Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, 4 к. КалмГУ; e-mail: ameli-altanas@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9916-7972 SPIN-код: 7219-0185



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-19-29

EDN: BPLJPZ

УДК 636.082.13

Научная статья / Research article

Пути повышения молочной продуктивности красной горбатовской породы

Г.С. Шеховцев 

Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация
laichzeit1@yandex.ru

Аннотация. Сохранение породного разнообразия крупного рогатого скота — одна из актуальных проблем животноводства. Особый интерес представляет изучение последней сохранившейся популяции красного горбатовского скота, происходящей от тирольского скота, который на сегодняшний день представлен породой Тукс-Циллерталер. Цель исследования — изучить влияние кровности красной горбатовской породы на молочную продуктивность коров. В задачи исследования входил анализ современного состояния генофондной популяции красного горбатовского скота, последние годы существования которой были отмечены прилитием крови англеской и красной датской пород. Чистопородных красных горбатовских коров и помесных животных, полученных при скрещивании с англеской и красной датской, сравнивали по показателям молочной продуктивности: средний удой молока за все лактации, содержание жира и белка в молоке, выход молочного жира и белка. Вычисляли среднюю величину, коэффициенты вариации и корреляции этих признаков. Результаты исследования показали некоторое превосходство помесных животных над чистопородным красным горбатовским скотом в величине удоев: на 5,7 % у помесей с англеской породой и 12,9 % — с красной датской, тем не менее, различия в значениях признака не были статистически значимыми. Различия в уровне содержания в молоке жира и белка были незначительными и находились в промежутке между 0,01 и 0,04 %. Выявленные значения коэффициентов корреляции свидетельствовали о значительном нереализованном потенциале молочной продуктивности.

Ключевые слова: местные породы, генофонд, тирольский скот, улучшающие породы, помеси, корреляция

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

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено в рамках комплексного проекта «Научно-технологические фронтиры» программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» по теме «Биотехнологические методы воспроизводства и геномные технологии в селекции сельскохозяйственных животных и сохранении генофонда малочисленных пород».

© Шеховцев Г.С., 2024



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

История статьи: поступила в редакцию 17 июля 2023 г., принята к публикации 13 октября 2023 г.

Для цитирования: Шеховцев Г.С. Пути повышения молочной продуктивности красной горбатовской породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 19–29. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-19-29

Ways to increase milk productivity of Red Gorbatov breed

Grigory S. Shekhovtsev 

Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow,
Russian Federation
laichzeit1@yandex.ru

Abstract. Conservation of cattle breed diversity is one of the urgent problems of animal husbandry. Of special interest is the study of the last remaining population of Red Gorbatov cattle, descended from Tyrolean cattle, which is represented by Tux-Zillertal breed today. The purpose of the research was to study the influence of bloodline of Red Gorbatov breed on dairy productivity of cows. The objectives of the study included analysis of the current state of gene pool population of Red Gorbatov cattle saturated with Angler and Red Danish breeds over the last years. Purebred Red Gorbatov cows and crossbred animals obtained by crossing with Angler and Red Danish breeds were compared according to the following indicators of milk productivity: average milk yield for all lactations, fat and protein content in milk, milk fat and protein yield. Average value, coefficients of variation and correlation were calculated. The results of the study showed some superiority of crossbred animals over purebred Red Gorbatov cattle in the value of milk yields: by 5.7 % in crossbreeds with Angler breed and 12.9 % in crossbreeds with Red Danish breed, however, the differences in the values of the trait were not statistically significant. Differences in content of fat and protein in milk were not significant and were in the range from 0.01 to 0.04 %. The revealed values of correlation coefficients showed a significant unrealized potential of milk productivity.

Key words: local breeds, gene pool, Tyrolean cattle, improving breeds, crossbreeds, correlation

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

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the integrated project «Scientific and Technological frontiers» of strategic academic leadership program «Priority-2030» on the topic «Biotechnological methods of reproduction and genomic technologies in animal breeding and preservation of gene pool of indigenous breeds».

Article history: Received: 17 July 2023. Accepted: 13 October 2023.

For citation: Shekhovtsev GS. Ways to increase milk productivity of Red Gorbatov breed. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):19–29. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-19-29

Введение

Проблема сохранения породного разнообразия актуальна во всем мире. В отношении сохранения российских пород крупного рогатого скота (КРС), по нашему мнению, необходимо учитывать их генетическую ценность, которая может выражаться наличием уникального набора генов, характерных только для этой породы.

Так, например, исследования аллелофонда КРС показали, что такие породы, как холмогорская, ярославская, красная горбатовская и бестужевская характеризуются наименьшей долей интрогрессии пород импортной селекции [1]. Однако состояние многих российских генетических ресурсов оценивается как критическое, в частности, если говорить о породах красного корня, то можно выделить красный горбатовский скот (рис. 1, 2), генофондная популяция которого на сегодняшний день сохранилась в единственном хозяйстве Нижегородской области АО «Аббковское».



Рис. 1. Телки красной горбатовской породы

Источник: сделано автором

Fig. 1. Red Gorbатов Heifers

Source: created by the author



Рис. 2. Красная горбатовская корова

Источник: сделано автором

Fig. 2. Red Gorbатов cow

Source: created by the author

Важно упомянуть, что красный горбатовский скот происходит от дукских и циллертальдукских отродий альпийского скота, которые в 1982 г. были объединены и на сегодняшний день представлены породой Тукс-Циллерталер¹. Средняя живая масса быков составляет 1100 кг, коров — 600 кг, высота в холке — 130 и 125 см соответственно. Молочная продуктивность за 305 дней лактации в среднем составляет 4433 кг молока жирностью 3,81 %, содержание белка — 3,41 %².

Упадок Тукс-Циллертальского скота начался еще в середине XIX в. В 1930 г. поголовье насчитывало около 4500 голов, а к середине 1970-х гг. в мире насчитывалось всего 30 голов КРС породы Тукс-Циллерталер [2]. Тем не менее, создание в 1986 г. Ассоциации заводчиков тирольской породы Тукс-Циллерталер положило начало сохранению породы. Исследование 2002 г. показало, что общая численность поголовья достигла 471 особей [3]. Согласно данным информационной системы ФАО на 2017 г. численность животных данной породы составила около 1296...2500 голов².

¹ Tux-Zillertaler: // Rinderzucht Tirol. Режим доступа: <https://www.rinderzucht.tirol/rassen/tux-zillertaler-194.html>
Дата обращения: 24.05.2023.

² Tux-Zillertaler / Austria (Cattle) // Domestic Animal Diversity Information System of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Режим доступа: <https://dadis-breed-datasheet-ext-ws.firebaseapp.com/?country=AUT&specie=Cattle&breed=Tux-Zillertaler&lang=en> Дата обращения: 30.05.2023.

Говоря о современном состоянии красной горбатовской породы необходимо понимать, что в течение последних нескольких лет в своей селекционно-племенной работе АО «Аббковское» использовало генетический материал, в т.ч. представленный семенем быков англеской и красной датской пород, следовательно возникает потребность в изучении как чистопородного красного горбатовского скота, так и помесных животных.

Здесь стоит отметить, что использование улучшающих пород, представленных англеской и красной датской, в селекции российского КРС красного корня нашло широкое применение, что подтверждается результатами некоторых исследований. Так, например, скрещивание коров красной степной породы с англескими и красно-пестрыми голштинскими быками способствовало получению животных, по продуктивным качествам превосходящих чистопородных сверстниц материнской породы [4–9], скрещивание бестужевских коров с быками красной датской породы привело к интенсификации производства молока [10–12]. Также проводились исследования по использованию прилития англеской и красной датской крови с целью увеличения показателей удоя и жирности молока красной горбатовской породы [13–16].

Цель исследования — изучение влияния кровности красной горбатовской породы на молочную продуктивность коров.

Материалы и методы исследования

В исследовании использовали данные племенных карточек коров генофондного хозяйства АО «Аббковское»: средний удой молока за все лактации, содержание жира и белка в молоке, количество молочного жира и белка, возраст и живая масса коров. По представленным признакам вычисляли их среднюю величину, среднее квадратическое отклонение, коэффициенты вариации и корреляции.

Для изучения эффективности использования улучшающих пород в селекции красной горбатовской породы методом пар-аналогов сформировали 3 группы коров по 20 голов в каждой: I — чистопородная красная горбатовская; II — помеси красной горбатовской с англеской; III — помеси красной горбатовской с красной датской.

Животные содержались в одинаковых условиях с применением стойлово-пастбищной системы и привязного способа содержания. Доеение коров было двукратным и осуществлялось в линейный молокопровод с использованием доильного аппарата производства GEA. В кормлении применяли полнорационную кормосмесь, состоящую из зерносенажа, сена лугового и комбикорма, включавшего в себя дробленое зерно овса и ячменя, соль и трикальцийфосфат. Премикс в кормлении не использовали.

Расчет описательной статистики проводили в программе Microsoft Excel, 2019. В табл. 1, 3 представлены средние значения, их стандартные ошибки, коэффициенты вариации S_v , коэффициенты корреляции. Выявленные различия для показателей молочной продуктивности считались статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Уровень молочной продуктивности является решающим фактором в определении эффективности молочного животноводства и характеризуется удоем за лактацию и содержанием в молоке питательных веществ, в частности, жира и белка.

Животные всех трех групп обладали достаточно низким удоем в сравнении со средним значением по племенным хозяйствам страны, так для группы чистопородных коров красной горбатовской породы удой составил 4840 кг, животные двух других групп отличались несколько большим удоем — 5117 и 5464 кг у групп II и III соответственно (табл. 1). Значения коэффициентов вариации составили 16,9, 13,0 и 21,7 % для групп I, II и III соответственно, что говорит о наибольшей изменчивости данного признака у помесей, полученных при скрещивании с красной датской породой. В то же время, помесные животные красной горбатовской и англеской пород характеризовались наименьшей изменчивостью удоя за лактацию.

Таблица 1

Показатели молочной продуктивности коров различных генотипов

Показатель	Группа						В среднем
	I		II		III		
	CV, %	Красная горбатовская	CV, %	½ Красная горбатовская × ½ англеская	CV, %	½ Красная горбатовская × ½ красная датская	
Удой за лактацию, кг	16,9	4840±183	13,0	5117±149	21,7	5464±266	5140±121
МДЖ, %	2,1	4,41±0,02	1,9	4,42±0,02	2,5	4,45±0,02	4,43±0,01
МДБ, %	1,4	3,29±0,01	1,8	3,27±0,01	2,5	3,31±0,02	3,29±0,01
Количество молочного жира, кг	18,1	213,3±8,6	14,2	226,2±7,2	24,4	243,2±13,2	227,6±5,9
Количество молочного белка, кг	18,0	159,4±6,4	14,5	167,5±5,4	24,3	172,5±9,8	169,2±4,4
Живая масса, кг	9,6	503±10,8	7,2	486±7,8	7,5	510±8,6	500±5,4
Коэффициент молочности	16,8	966±36,2	15,9	1059±37,6	24,1	1078±58,2	1034±26,4

Table 1

Milk productivity in various cow genotypes

Indicator	Group						Average
	I		II		III		
	CV, %	Red Gorbatov breed	CV, %	½ Red Gorbatov × ½ Angler	CV, %	½ Red Gorbatov × ½ Red Danish	
Milk yield per lactation, kg	16.9	4840±183	13.0	5117±149	21.7	5464±266	5140±121
MF, %	2.1	4.41±0.02	1.9	4.42±0.02	2.5	4.45±0.02	4.43±0.01
MP, %	1.4	3.29±0.01	1.8	3.27±0.01	2.5	3.31±0.02	3.29±0.01

Indicator	Group						Average
	I		II		III		
	CV, %	Red Gorbatov breed	CV, %	½ Red Gorbatov × ½ Angler	CV, %	½ Red Gorbatov × ½ Red Danish	
Milk fat yield, kg	18.1	213.3±8.6	14.2	226.2±7.2	24.4	243.2±13.2	227.6±5.9
Milk protein yield, kg	18.0	159.4±6.4	14.5	167.5±5.4	24.3	172.5±9.8	169.2±4.4
Live weight, kg	9.6	503±10.8	7.2	486±7.8	7.5	510±8.6	500±5.4
Coefficient of milk productivity	16.8	966±36.2	15.9	1059±37.6	24.1	1078±58.2	1034±26.4

Особь всех трех исследуемых групп отличали достаточно высоким содержанием жира в молоке, наибольшее значение было получено у помесей красной горбатовской с красной датской породой и составило 4,45 %, при этом наименьшее значение, характерное для чистопородных животных красной горбатовской породы, также оставалось на довольно высоком уровне — 4,41 %.

Значения содержания белка в молоке являются важнейшими критериями при оценке его качества и указывают на такой технологический параметр, как сыропригодность. По данному показателю были определены значения: 3,29, 3,27 и 3,31 % для групп I, II и III соответственно, что можно расценивать как высокое процентное содержание белка в молоке.

Превосходство в удое за лактацию наблюдали у группы III (табл. 2), где разница с группами I и II соответственно равнялась 624 и 347 кг, в то же время помеси с англеской породой также обладали некоторым превосходством над чистопородными животными красной горбатовской породы (277 кг), тем не менее, различия в значениях между группами статистически значимыми не являлись.

Таблица 2

Сравнительная характеристика молочной продуктивности опытных групп

Показатель	Разница между исследуемыми группами		
	I и II	I и III	II и III
Удой за лактацию, кг	-277*	-624*	-347*
МДЖ, %	-0,01*	-0,04*	-0,03*
МДБ, %	0,02*	-0,02*	-0,04*
Количество молочного жира, кг	-12,9*	-29*	-17*
Количество молочного белка, кг	-8,1*	-13,1*	-5*
Живая масса, кг	17	-7	-24
Коэффициент молочности	-93*	-112*	-19*

Примечание: * — $p > 0,05$; разница не достоверна.

Comparative characteristics of milk productivity in experimental groups

Indicator	Difference between groups		
	I and II	I and III	II and III
Milk yield per lactation, kg	-277*	-624*	-347*
MF, %	-0.01*	-0.04*	-0.03*
MP, %	0.02*	-0.02*	-0.04*
Milk fat yield, kg	-12.9*	-29*	-17*
Milk protein yield, kg	-8,1*	-13,1*	-5*
Live weight, kg	17	-7	-24
Coefficient of milk productivity	-93*	-112*	-19*

Note: * – $p > 0.05$; the difference is not significant.

Если говорить о таких качественных показателях молока, как массовая доля жира и белка, то различия в значениях между группами исследуемых животных были несущественными, в частности, разница в содержании жира между группами I и II составила 0,01 %, наибольшее отличие в значении данного показателя наблюдалось между группами I и III — 0,04 %. Различия в содержании белка также были минимальными, соответственно, как и в случае с массовой долей жира, различия между группами в массовой доле белка достоверными не являлись.

Более полную характеристику уровня молочной продуктивности можно получить с помощью показателей выхода молочного жира и белка. По данным нашего исследования, по количеству молочного жира группы II и III превосходили группу I на 6 и 14 % соответственно. По количеству молочного белка различие между группами было еще ниже, так, например, выход белка у помесей с англеской и красной датской породами по сравнению с чистопородными животными красной горбатовской породы был выше на 5,1 и 8,2 % соответственно.

Мы провели расчеты корреляционной зависимости между возрастом, живой массой и показателями молочной продуктивности для трех групп животных. Анализ полученных данных (табл. 3) свидетельствует о том, что между возрастом и удоем у всех трех исследуемых групп наблюдается отрицательная корреляция, при этом для коров красной горбатовской породы она была очень слабой и составила 0,18, в то же время, для помесей с красной датской была характерна средняя корреляция — 0,59.

Таблица 3

Взаимосвязь между возрастом, живой массой и показателями молочной продуктивности

Коэффициенты корреляции между	Группа		
	I	II	III
Возрастом и удоем	-0,18	-0,36	-0,59
Живой массой и удоем	0,24	-0,05	-0,14
Живой массой и жирностью	0,06	-0,04	-0,02
Живой массой и содержанием белка	0,06	0,03	-0,15
Величиной удоя и жирностью молока	0,54	0,44	0,78
Величиной удоя и содержанием белка	0,58	0,57	0,74
Жирностью и содержанием белка	0,57	0,68	0,92

Correlation between age, live weight and indicators of milk productivity

Correlation coefficients between:	Group		
	I	II	III
Age and milk yield	-0.18	-0.36	-0.59
Live weight and milk yield	0.24	-0.05	-0.14
Live weight and fat content	0.06	-0.04	-0.02
Live weight and protein content	0.06	0.03	-0.15
Milk yield and fat content	0.54	0.44	0.78
Milk yield and protein content	0.58	0.57	0.74
Fat content and protein content	0.57	0.68	0.92

Говоря о корреляционной зависимости между живой массой и удоем, можно сказать, что слабая положительная корреляция наблюдается только у группы I — 0,24, тогда как у группы III отмечается очень слабая отрицательная корреляция (-0,14), а у группы II данные признаки практически не коррелирует между собой (-0,05).

Коэффициенты корреляции между такими признаками, как живая масса и жирность молока, не показали какой-либо взаимосвязи. Аналогичная ситуация наблюдается между живой массой и содержанием белка в молоке, за исключением группы III, где все же имеется очень слабая отрицательная корреляция (-0,15).

Анализируя корреляционные зависимости между величиной удоя и жирностью молока, мы видим, что для животных групп I и II была характерна средняя положительная корреляция по данным признакам — 0,54 и 0,44 соответственно, а группа III отличалась еще более сильной положительной корреляционной зависимостью — 0,78, что, однако, не является типичным. Похожая ситуация была отмечена при расчете коэффициентов корреляции между величиной удоя и содержанием белка.

В первых двух исследуемых группах была средняя положительная корреляционная зависимость значений коэффициентов корреляции между жирностью молока и содержанием в нем белка, для коров группы III была характерна очень сильная положительная корреляция (0,92).

Заключение

Проведена оценка эффективности повышения молочной продуктивности популяции красного горбатовского скота путем скрещивания с такими улучшающими породами, как англеская и красная датская.

1. Помесные животные превосходили чистопородный красный горбатовский скот в величине удоев на 5,7 % ($\frac{1}{2}$ красная горбатовская \times $\frac{1}{2}$ англеская) и 12,9 % ($\frac{1}{2}$ красная горбатовская \times $\frac{1}{2}$ красная датская), тем не менее, повышение молочной продуктивности было недостоверным, следовательно, мы не можем однозначно рекомендовать использование англеской и красной датской пород для повышения удоев.

2. Различия в таких показателях содержания в молоке жира и белка были незначительными, в частности, разницы в массовой доле жира между группами I ($\frac{1}{2}$ красная горбатовская \times $\frac{1}{2}$ англеская) и II (красная горбатовская), а также I и III ($\frac{1}{2}$ красная горбатовская \times $\frac{1}{2}$ красная датская) составили 0,01 и 0,04 % соответ-

ственно. По содержанию в молоке белка помеси из группы II несколько уступали животным из двух других групп (3,27 % против 3,29 и 3,31 %).

3. Анализ корреляционной зависимости между величиной удоя, жирностью молока и содержанием белка выявил ряд средних ($r = 0,44 \dots 0,58$; группы I и II) и сильных ($r = 0,74 \dots 0,78$; группа III) положительных корреляций, таким образом, в данной популяции КРС возможно проводить отбор лучших животных по величине удоя, при этом, увеличивая процентное содержание жира и белка в молоке. Более того, указанные значения коэффициентов корреляции могут свидетельствовать о потенциале молочной продуктивности, который может быть реализован, в т.ч. посредством улучшения условий содержания и увеличения уровня кормления животных.

4. В связи с тем, что АО «Абабковское» является генофондным хозяйством, в племенной работе предприятия с генофондной популяцией необходимо использовать генетический материал именно красной горбатовской породы для ее дальнейшего поддержания в чистоте и развития. Тем не менее, неоднородность современного стада по генотипу представляет собой научный интерес для изучения влияния улучшающих пород на молочную продуктивность красной горбатовской породы при разных долях кровности.

Библиографический список

1. Зиновьева Н.А., Сермягин А.А., Доцев А.В., Бороонецкая О.И., Петрикеева Л.В., Абдельманова А.С., Brem G. Генетические ресурсы животных: развитие исследований аллелофонда Российских пород крупного рогатого скота — миниобзор // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 4. С. 631–641. doi: 10.15389/agrobiology.2019.4.631rus
2. Haller M. *Seltene Haus- & Nutztierassen*. Graz: Stocker, 2000.
3. Baumung R., Sölkner J. Analysis of pedigrees of Tux-Zillertal, Carinthian Blond and Original Pinzgau cattle population in Austria // *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2002. Т. 119. № 3. P. 175–181. doi: 10.1046/j.1439-0388.2002.00332.x
4. Горлов И.Ф., Кайдулина А.А., Сложженкина М.И., Мосолова Н.И., Бармина Т.Н., Суркова С.А. Влияние скрещивания коров красной степной породы с быками англеской породы на молочную продуктивность и морфофункциональные особенности вымени // *Аграрно-пищевые инновации*. 2018. № 3(3). С. 34–37. doi: 10.31208/2618-7353-2018-1-3-34-37
5. Гасангусейнов О.А., Алиханов М.П., Шарипов Ш.М., Чавтараев Р.М. Эффективность скрещивания англеских быков с животными красной степной породы // *Новости науки в АПК*. 2018. № 2–1(11). С. 289–292. doi: 10.25930/q2h9-2q78
6. Чавтараев Р.М. Влияние прилития крови англесов на продуктивные качества красных степных коров // *Горное сельское хозяйство*. 2021. № 1. С. 92–96. doi: 10.25691/GSH.2021.1.020
7. Панфилова Г.И. Повышение молочной продуктивности коров красной степной породы при использовании быков айрширской и голштинской красно-пестрой селекции // *Вестник Донского государственного аграрного университета*. 2019. № 2–1(32). С. 37–43.
8. Ковалева Г.П., Мельникова В., Шарко Н.А. Сравнительная характеристика молочной продуктивности коров красной степной породы и ее помесей с красно-пестрой голштинской // *Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства*. 2012. Т. 1. № 5. С. 22–27.
9. Текеев М.А.Э., Эбзеев М.М., Текеева Х.Э. Эффективность использования быков красно-пестрой голштиносской породы при выведении нового красного степного скота кубанского типа // *Вестник АПК Ставрополя*. 2018. № 3(31). С. 52–54. doi: 10.31279/2222-9345-2018-7-31-52-54

10. Стенькин Н.И., Байбиков М.Ф. Эффективность скрещивания бестужевских коров с быками красной датской породы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4(56). С. 201–205. doi: 10.18286/1816-4501-2021-4-201-205
11. Стенькин Н.И., Байбиков М.Ф. Молочная продуктивность и морфофункциональные признаки вымени первотелок бестужевской породы и их помесей с красной датской породой // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1(45). С. 107–111. doi: 10.18286/1816-4501-2019-1-107-111
12. Стенькин Н.И., Байбиков М.Ф. Особенности роста и развития телок бестужевской породы и их помесей с красной датской породой // Зоотехния. 2018. № 7. С. 30–32.
13. Басонов О.А., Маар Д.Э. Сравнительная характеристика продуктивных показателей красного Горбатовского скота с различной кровностью // Инновации и технологический прорыв в АПК: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 19 ноября 2020 г. Брянск: Брянский государственный аграрный университет, 2020. Том Часть 2. С. 33–37.
14. Руденко О.В. Экономическая эффективность разведения красного Горбатовского скота // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. Т. 2. С. 228–231.
15. Трошин К.А. Влияние кровности по улучшающим породам на показатели молочной продуктивности красных горбатовских коров // В мире научных открытий: материалы VI Междунар. студ. науч. конф., Ульяновск, 24–25 мая 2022 г. Ульяновск: Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, 2022. С. 3176–3179.
16. Руденко О.В., Трошин К.А. Влияние кровности по улучшающей породе на показатели молочной продуктивности красных горбатовских коров // Актуальные вопросы животноводства: материалы всерос. (нац.) науч.-практ. конференции, посв. 90-летию со дня рожд. проф. Нижегородского гос. агротехнол. ун-та, акад. Петровской академии наук и искусств Галкина Алексея Васильевича, Нижний Новгород, 29–30 сентября 2021 г. Нижний Новгород: Нижегородский государственный агротехнологический университет, 2023. С. 81–87.

References

1. Zinovieva NA, Sermyagin AA, Dotsev AV, Boronetskaya OI, Petrikeeva LV, Abdelmanova AS, et al. Animal genetic resources: developing the research of allele pool of Russian cattle breeds — minireview. *Agricultural Biology*. 2019;54(4):631–641. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiol.2019.4.631rus
2. Haller M. *Seltene Haus- & Nutztierassen*. Graz: Stocker, 2000.
3. Baumung R, Sölkner J. Analysis of pedigrees of Tux-Zillertal, Carinthian Blond and Original Pinzgau cattle population in Austria. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 2002;119(3):175–181. doi: 10.1046/j.1439-0388.2002.00332.x
4. Gorlov IF, Kaidulina AA, Slozhenkina MI, Mosolova NI, Barmina TN, Surkova SA. The effect of crossing red steppe cows breed with bulls of the Angarskaya breed on milk production and morphological and functional characteristics of udder. *Agricultural and food innovations*. 2018;(3):34–37. (In Russ.). doi: 10.31208/2618-7353-2018-1-3-34-37
5. Hasanguseynov OA, Alikhanov MP, Sharipov SM, Chavtaraev RM. Efficiency of crossing Angler bulls with animal Red Steppe breed. *Novosti nauki v APK*. 2018;(2–1):289–292. (In Russ.). doi: 10.25930/q2h9-2q78
6. Chavtaraev RM. The influence of Angler blood flow on the productive qualities of Red Steppe cows. *Mining agriculture*. 2021;(1):92–96. (In Russ.). doi: 10.25691/GSH.2021.1.020
7. Panfilova GI. Increasing milk productivity of Red Steppe cows when using Ayrshire and Holstein bulls of red-and-white selection. *Vestnik of Don State Agrarian University*. 2019;(2–1):37–43. (In Russ.).
8. Kovaleva GP, Melnikova V, Sharko NA. Comparative characteristics of milk productivity of Red Steppe cows and its crossbreeds with Red Holstein Mottled breed. *Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva*. 2012;1(5):22–27. (In Russ.).
9. Tekeev ME, Ebzeev MM, Tekeeva HE. Efficiency of using bulls of the Red-motley Holstein breed in breeding new Red Steppe cattle Kuban type. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2018;(3):52–54. (In Russ.). doi: 10.31279/2222-9345-2018-7-31-52-54
10. Stenkin NI, Baibikov MF. Crossing efficiency of Bestuzhev cows with Red Danish bulls. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;(4):201–205. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2021-4-201-205
11. Stenkin NI, Baibikov MF. Milk productivity and udder morpho-functional features of Bestuzhev breed heifers and their cross breeds with Red Danish breed. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019;(1):107–111. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2019-1-107-111

12. Stenkin NI, Baibikov MF. Features of the growth and development of heifers Bestuzhevskaya breed and their crosses with Red Danish breed. *Zootechniya*. 2018;(7):30–32. (In Russ.).

13. Basonov OA, Maar DE. Comparative characteristics of productive indicators of red Gorbatov cattle with different blood types. In: *Innovations and technological breakthrough in the agro-industrial complex: conference proceedings. Part 2*. Bryansk; 2020. p.33–37. (In Russ.).

14. Rudenko OV. Economic efficiency of breeding red Gorbatov cattle. *Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*. 2012;2:228–231. (In Russ.).

15. Troshin KA. The influence of blood on improving breeds on the indicators of milk productivity of red Gorbatov cows. In: *In the world of scientific discoveries: conference proceedings*. Ulyanovsk; 2022. p.3176–3179. (In Russ.).

16. Rudenko OV, Troshin KA. The influence of bloodline on improving breed on the indicators of milk productivity of red Gorbatov cows. In: *Current issues of livestock breeding: conference proceedings*. Nizhny Novgorod; 2023. p.81–87. (In Russ.).

Об авторе:

Шеховцев Григорий Сергеевич — аспирант 2-го года обучения, ассистент кафедры молочного и мясного скотоводства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: laichzeit1@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-6281-9968

About author:

Shekhovtsev Grigory Sergeevich — PhD student, Assistant, Department of Dairy and Beef Cattle Breeding, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: laichzeit1@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-6281-9968



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-30-38

EDN: AJZQTM

УДК 619:616.9:636.088:636.4

Научная статья / Research article

Влияние микотоксинов на качественные показатели молока у коров в условиях крупного животноводческого комплекса

Л.А. Гнездилова  , С.В. Федотов ,
Ж.Ю. Мурадян , С.М. Розинский 

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА
им. К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация
 lag22004@mail.ru

Аннотация. Исследования проводили в молочных комплексах племенного хозяйства ОАО «Леднево» Юрьев-Польского района Владимирской области с целью научного обоснования влияния микотоксинов на качественные показатели молока у коров в условиях крупного животноводческого комплекса. На каждом из комплексов подобрали по 20 коров, у которых брали пробы молока на определение содержания белка, жира, казеина, альбуминов, глобулинов, лактозы, общего количества сухих веществ, сухого обезжиренного молочного остатка с использованием автоматического анализатора состава молока (Combi Milkoscan, FossElectric, Дания). Анализ остатков микотоксинов в молоке проводили с помощью масс-спектр жидкостной хроматографии. Для определения гематологических показателей и проведения биохимических тестов использовали автоматический анализатор BioSystemsA25 (США). Результаты исследования на автоматическом анализаторе Foss показали понижение содержания сухого вещества в молоке от коров, которые получали корма с более высокой концентрацией микотоксинов ($10,44 \pm 0,22$ против $14,71 \pm 0,45$ %). Следовательно, микотоксины в больших концентрациях влияют на метаболизм аминокислот. Так, треонин — незаменимая аминокислота, получаемая из аспартата бактерий и растений, метаболизируется с образованием глицина и серина, которые имеют большое влияние на метаболический процесс. В период скармливания лактирующим коровам корма, содержащие микотоксины, снижали потребление корма, надой молока, а также оказывали негативное влияние на гематологические и биохимические показатели крови экспериментальных коров.

Ключевые слова: биохимический тест, сухое вещество, период лактации, аминокислотный состав, масс-спектр жидкостной хроматографии, гематологические показатели, биохимические показатели

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

© Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М., 2024



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

Финансирование. Благодарности. Экспериментальные работы проводили в рамках гранта РНФ «Природные адаптогены для восстановления воспроизводительной функции у крупного рогатого скота при микотоксикозах (соглашение № 23–26–00150).

История статьи: поступила в редакцию 2 декабря 2023 г., принята к публикации 29 декабря 2023 г.

Для цитирования: Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М. Влияние микотоксинов на качественные показатели молока у коров в условиях крупного животноводческого комплекса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 30–38. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-30-38

The influence of mycotoxins on quality indicators of milk in cows in a large livestock complex

Larisa A. Gnezdilova  , Sergey V. Fedotov ,
Zhora Y. Muradyan , Serafim M. Rozinsky 

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after
K.I. Skryabin, *Moscow, Russian Federation*
 lag22004@mail.ru

Abstract. The research was carried out in the dairy complexes of Lednevo breeding farm in the Yuryev-Polsky district, the Vladimirov region. The purpose of the study was to scientifically substantiate the influence of mycotoxins on quality indicators of milk in cows in a large livestock complex. At each of the complexes, 20 cows were selected. The milk samples were taken to determine the content of protein, fat, casein, albumin, globulins, lactose, total solids, dry skimmed milk residue using automatic milk composition analyzer (Combi Milkoscan, FossElectric, Denmark). Analysis of mycotoxin residues in milk was carried out using liquid chromatography mass spectrum. To determine hematological parameters and perform biochemical tests, BioSystemsA25 automatic analyzer (USA) was used. The results of automatic Foss analyzer showed a decrease in dry matter content in milk from cows that received feed with a higher concentration of mycotoxins (10.44 ± 0.22 versus 14.71 ± 0.45 %). Thus, mycotoxins in high concentrations affect amino acid metabolism. Threonine, an essential amino acid obtained from aspartate in bacteria and plants, is metabolized to form glycine and serine, which have a great influence on metabolic processes. Thus, feeding lactating cows with fodder containing mycotoxins reduced feed consumption, milk yield, and also had negative effect on hematological and biochemical blood parameters of experimental cows.

Keywords: biochemical test, dry matter, lactation period, amino acid composition, liquid chromatography mass spectrum, hematological parameters, biochemical parameters

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Acknowledgements. Experiments were carried out within the framework of the Russian Science Foundation grant «Natural adaptogens for restoring reproductive function in cattle with mycotoxicosis» (no. 23–26–00150).

Article history: Received: 2 December 2023. Accepted: 29 December 2023.

For citation: Gnezdilova LA, Fedotov SV, Muradyan ZY, Rozinsky SM. The influence of mycotoxins on quality indicators of milk in cows in a large livestock complex. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):30–38. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-30-38

Введение

Интенсификация отрасли животноводства, направленная на получение максимальной прибыли от молочных коров, возможна только при соблюдении норм кормления с учетом продуктивности животных [1, 2]. Незначительные нарушения в технологии заготовки кормов могут привести к контаминации их грибами с последующим образованием микотоксинов [3].

Микотоксины, если их употреблять в достаточно больших количествах, вызывают неблагоприятные биологические последствия. Симптомы хронического поражения микотоксинами включают депрессию, изменение аппетита, лихорадку, спорадическую диарею и потерю веса [4]. Острый микотоксикоз в тяжелой форме может привести к летальному исходу, но обычно характеризуется снижением потребления корма и выработки молока [5, 6]. Острые симптомы наблюдались у коров, которые подвергались воздействию афлатоксина в концентрациях выше 100 мг/кг [7].

Микотоксины, представляющие собой разнообразную группу химических веществ, вызывают различные токсические реакции [8]. Следовательно, микотоксикозы можно определить не по специфическим симптомам, а по характеру последствий: снижение эффективности кормления, иммуносупрессии, нарушение работы печени и почек, снижение репродуктивной способности [9, 10].

Афлатоксины, зеараленоны и дезоксиниваленол — три основных микотоксина, обнаруженные в молоке коров. Более того, афлатоксин М1 — единственный микотоксин, для которого установлено максимальное остаточное содержание в молоке во всех странах мира [11, 12]. Микотоксины, обнаруженные в молоке, происходят из загрязненных грибками кормов, которые скармливаются лактирующим коровам. В свою очередь, корма для молочного скота часто подвержены контаминации микотоксинами во время сбора урожая, переработки и хранения [13, 14].

Загрязнение микотоксинами обычно происходит в регионах с умеренным климатом и часто встречается в кормах, таких как пшеница, ячмень, овес и кукуруза [15, 16]. Следовательно, контаминация кормов для молочных коров грибками и наличие микотоксинов в них практически неизбежно.

Цель исследования — изучение влияния микотоксинов в рационах лактирующих коров на гематологические и биохимические показатели крови, на молочную продуктивность, качественные показатели молока.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в молочных комплексах племенного хозяйства ОАО «Леднево», Юрьев-Польский район Владимирской области (далее — ПХ).

При проведении оценки кормов на микотоксины с использованием жидкостной хроматографии высокого давления на масс-спектрофотометре выявили, что на комплексе № 1 ПХ контаминация кормов грибками была выше, чем на комплексе № 2 (табл. 1).

Содержание микотоксинов в кормах, принадлежащих ОАО «Леднево»

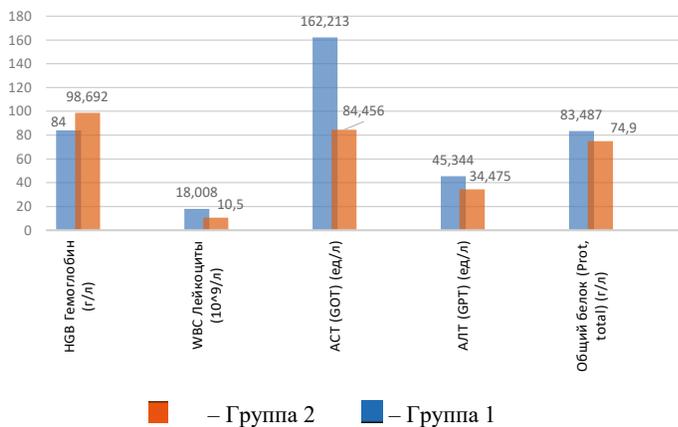
ОАО «Леднево»	Корм	Микотоксины		
		Деоксиниваленол ДОН, мг/кг	Zearalenone ЗЕН, мг/кг	Aflatoxin M1, мг/кг
Комплекс № 1	Силос	4,615 ± 0,088	246,428 ± 0,044	49,004 ± 2,116
	Концентраты	4,141 ± 0,075	526,141 ± 14,138	54,912 ± 1,431
Комплекс № 2	Силос	2,0411 ± 0,072	155,097 ± 0,092	21,033 ± 2,234
	Концентраты	2,152 ± 0,104	222,102 ± 9,431	28,731 ± 1,642

На каждом из комплексов было подобрано по 20 коров, в пробах молока которых определяли содержание белка, жира, казеина, альбуминов, глобулинов, лактозы, общего количества сухих веществ, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) с использованием автоматического анализатора состава молока (Combi Milkoscan, FossElectric, Дания). Анализ остатков микотоксинов в молоке проводили с помощью масс-спектр жидкостной хроматографии.

Для определения гематологических показателей и проведения биохимических тестов использовали автоматический анализатор BioSystemsA25 (США).

Результаты исследований и обсуждение

Анализ результатов гематологических и биохимических исследований крови экспериментальных коров показал, что при потреблении кормов с повышенном содержанием микотоксинов наблюдается снижение гемоглобина ($84,000 \pm 3,109$ против $98,692 \pm 7,620$ г/л) и повышение содержания лейкоцитов ($18,008 \pm 4,499$ против $10,500 \pm 2,250$ 10^9 /л), аспаратаминотрансферазы ($162,213 \pm 43,080$ против $84,456 \pm 15,884$ ед/л), аланинаминотрансферазы ($45,344 \pm 3,835$ против $34,475 \pm 5,446$ ед/л) и общего белка ($83,487 \pm 4,694$ против $74,900 \pm 3,556$ г/л) (рис.).



Гематологические и биохимические показатели сыворотки крови экспериментальных коров

Источник: сделано авторами

У коров, получавших более контаминированные зearаленоном и афлатоксинами корма, было отмечено нарастание активности ферментов печени. Следовательно, данные микотоксины обладают гепатотоксичностью, гематотоксичностью и генотоксичностью.

Уровень общего белка был выше в группе, получавшей корма с более высоким содержанием зearаленона и афлатоксина. Это может быть связано с ингибированием синтеза белка на клеточном уровне и, следовательно, преимущественно повреждать быстро пролиферирующие клетки иммунной системы. Более того, афлатоксин ингибирует синтез белка и пролиферацию клеток и может оказывать избирательное воздействие на различные субпопуляции лимфоцитов и лейкоцитов.

При проведении анализа молока коров экспериментальных групп определили, что концентрация микотоксинов в кормах влияет на остаточные количества в нем афлатоксинов, зearаленона и дезоксиниваленола. Так, при потреблении концентратов со средним значением ДОНа $2,152 \pm 0,104$ мг/кг в молоке обнаружено содержание микотоксина в значениях $0,508 \pm 0,116$ мг/кг (2-я группа экспериментальных коров), в то время как в молоке экспериментальных коров 1-й группы этот показатель составил $1,022 \pm 0,014$ мг/кг при наличии его в кормах в пределах $4,615 \pm 0,088$ мг/кг. Аналогичная картина наблюдается по показателям афлатоксина, зearаленона (табл. 2).

Таблица 2

Среднее содержание микотоксинов в молоке коров

Микотоксины	Ед. измерения	Экспериментальные коровы	
		1 группа	2 группа
Deoxynivalenol (ДОН)	мг/кг	$1,022 \pm 0,014$	$0,508 \pm 0,116$
Zearalenone (ЗЕН)	мг/кг	$1,503 \pm 0,146$	$0,971 \pm 0,081$
AflatoxinM1	мг/кг	$1,519 \pm 0,285$	$0,622 \pm 0,325$

При определении влияния различных концентраций микотоксинов на молочную продуктивность коров и качественный состав молока фиксировали следующие показатели: выход сухого вещества, молочного жира, молочного белка, лактозы, общего белка, казеина, альбумина и глобулина (табл. 3).

Таблица 3

Молочная продуктивность коров и качественный состав молока

Показатели	Ед. измерения	Экспериментальные коровы	
		1 группа	2 группа
		±	±
Удой за 305 дней лактации	кг	$8528,94 \pm 111,54$	$9153,81 \pm 99,72^*$
Выход сухого вещества	кг	$743,48 \pm 14,63$	$998,53 \pm 18,54^*$

Показатели	Ед. измерения	Экспериментальные коровы	
		1 группа	2 группа
		±	±
Выход молочного жира	кг	378,08 ± 9,21	485,54 ± 7,73*
Выход молочного белка	кг	316,08 ± 7,45	399,71 ± 5,49*
Выход лактозы	кг	434,32 ± 6,78	481,6 ± 11,12*
Содержание в молоке сухого вещества	%	10,44 ± 0,22	14,71 ± 0,45*
Сухое вещество в т. ч. СОМО	%	7,34 ± 0,35	8,54 ± 0,22
Жир	%	3,41 ± 0,17	3,49 ± 0,12
Общий белок	%	3,17 ± 0,15	3,18 ± 0,24
Казеин	%	2,74 ± 0,26	2,77 ± 0,09
Альбумины	%	0,68 ± 0,16	0,69 ± 0,11
Глобулины	%	0,47 ± 0,09	0,59 ± 0,04
Лактоза	%	4,79 ± 0,64	4,84 ± 0,56

* – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$.

При ретроспективном анализе с использованием программы «Селекс» установили, что у коров 1 экспериментальной группы за 305 дней лактации удой достоверно превышал ($P \leq 0,05$) коров 2 экспериментальной группы ($9153,81 \pm 99,72$ против $8528,94 \pm 111,54$ кг).

Результаты исследования на автоматическом анализаторе Foss показали понижение содержания сухого вещества в молоке от коров, которые получали корма с более высокой концентрацией микотоксинов ($10,44 \pm 0,22$ против $14,71 \pm 0,45$ %). При этом процентное содержание в сухом веществе СОМО, жира, общего белка, казеина, альбуминов, глобулинов и лактозы подвергалось незначительным изменениям.

У коров, получавших корма, содержащие заплесневелые концентраты, существенно изменились производственные показатели, включая потребление корма, состав молока и выход сухого вещества, основу которого составляет молочный жир, молочный белок, молочный сахар и минеральные вещества.

В низких концентрациях зеараленон и афлатоксины подавляют лактогенез, тогда как в высоких концентрациях они могут проявлять ксенобиотическую активность, влияя тем самым на ферменты, участвующие в биоконверсии. Кроме того, высокое содержание микотоксинов в кормах может вызывать повреждение органов у коров или подавление иммунитета.

Для определения биологической ценности молока, полученного от экспериментальных коров, использовали количественный метод содержания заменимых и незаменимых аминокислот. В пробах сырого молока мы идентифицировали 11 незаменимых и 4 заменимых аминокислоты (табл. 4).

**Содержание заменимых и незаменимых аминокислот
в молоке экспериментальных коров**

Показатели	Ед. измерения	Экспериментальные коровы	
		1 группа	2 группа
		±	±
Незаменимые аминокислоты			
Триптофан	мг/100 г	48,97 ± 0,07	50,27 ± 0,10
Аргинин	мг/100 г	120,04 ± 0,03	121,74 ± 0,08
Валин	мг/100 г	188,74 ± 0,11	190,31 ± 10,05
Метионин	мг/100 г	85,74 ± 4,12	87,01 ± 3,06
Лейцин	мг/100 г	322,15 ± 10,04	323,98 ± 11,01
Изолейцин	мг/100 г	187,15 ± 10,09	188,76 ± 7,07
Фенилаланин	мг/100 г	168,85 ± 7,12	171,24 ± 10,15
Цистин	мг/100 г	25,48 ± 0,12	27,85 ± 0,08
Лизин	мг/100 г	258,94 ± 3,07	260,71 ± 2,93
Гистидин	мг/100 г	88,06 ± 1,09	90,11 ± 1,12
Треонин	мг/100 г	148,16 ± 4,07	150,42 ± 3,17
Заменимые аминокислоты			
Тирозин	мг/100 г	181,82 ± 9,12	183,18 ± 7,04
Глутаминовая кислота	мг/100 г	714,28 ± 6,27	716,17 ± 5,18
Глицин	мг/100 г	45,38 ± 1,08	47,02 ± 1,12
Аспарагиновая кислота	мг/100 г	215,92 ± 9,18	217,06 ± 5,01

При анализе тестов на биологическую ценность молока определили изменения содержания незаменимых и заменимых аминокислот в молоке экспериментальных коров. Так, количественные показатели триптофана в молоке коров, получавших корма с более высоким содержанием микотоксинов, составили $48,97 \pm 0,07$ против $50,27 \pm 0,10$ мг/100 г в молоке коров 2 экспериментальной группы. Аналогичная картина наблюдается и по содержанию аргинина, валина, метионина, лейцина, изолейцина, фенилаланина, цистина, лизина, гистидина.

Следовательно, микотоксины в больших концентрациях влияют на метаболизм аминокислот. Так, треонин — незаменимая аминокислота, получаемая из аспартата бактерий и растений, метаболизируется с образованием глицина и серина, которые имеют большое влияние на метаболический процесс.

Исследования показали, что воздействие микотоксинов, поступающих с кормом, может привести к нарушению обмена аминокислот. Так, глицин, серин и треонин являются аминокислотами, продуцирующими глюкозу. Глюкоза, в свою очередь, является важным метаболическим фактором, и изменения метаболизма глюкозы воздействием микотоксинов может влиять на обмен аминокислот в молочной железе.

Заключение

Таким образом, скормливание лактирующим коровам корма, содержащего микотоксины, снижало потребление корма, надой молока, а также оказывало негативное влияние на гематологические и биохимические показатели крови экспериментальных коров.

У коров, получавших более контаминированный зеараленоном и афлатоксинами корм, отмечалось нарастание активности ферментов печени. Указанные микотоксины обладают гепатотоксичностью, гематотоксичностью и генотоксичностью.

Скормливание коровам кормов, содержащих заплесневелые концентраты, существенно повлияло на состав молока и выход сухого вещества, основу которого составляют молочный жир, молочный белок, молочный сахар и минеральные вещества.

Кроме, того изменилось содержание метаболитов в молоке экспериментальных коров. Воздействие микотоксинов в больших концентрациях на аминокислотный состав приводит к изменению процесса метаболизма, нарушению обмена аминокислот в молочной железе.

Список литературы

1. Антипов В.А., Мирошниченко П.В., Трошин А.Н., Шантыз А.Х. Воздействие сочетанных микотоксинов на организм крупного рогатого скота // *Ветеринария и кормление*. 2016. № 2. С. 42–43.
2. Косолапова В.Г., Халифа М.М., Ишмуратов Х.Г. Влияние микотоксинов на здоровье и продуктивность молочного скота // *Кормопроизводство*. 2021. № 9. С. 38–46.
3. Гнездилова Л.А., Федотов С.В., Мурадян Ж.Ю., Розинский С.М. Влияние микотоксинов на репродуктивные и производственные показатели лактирующих коров в условиях интенсивного производства // *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2023. № 4. С. 70–80. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202304007
4. Попова С.А., Скопцова Т.И., Лосякова Е.В. Микотоксины в кормах: причины, последствия, профилактика // *Известия Великолукской ГСХА*. 2017. № 1. С. 16–23.
5. Хулик М., Земан Л. Влияние кормовых агентов, связывающих микотоксины, на здоровье, репродуктивную функцию и молочную продуктивность дойного скота // *Молочное и мясное скотоводство*. 2016. № 4. С. 35–38.
6. Хинрих М. Надежное связывание микотоксинов // *Комбикорма*. 2018. № 6. С. 64–66.
7. Солдатенко Н.А., Дробин Ю.Д., Бокун Е.А., Алиев А.Ю. Наличие микотоксинов в органах молодняка животных и птиц при скормливании кормов, загрязненных микотоксинами // *Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2020. № 4(36). С. 439–442. doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202004005
8. Антипов В.А., Мирошниченко П.В., Трошин А.Н., Шантыз А.Х. Воздействие сочетанных микотоксинов на организм крупного рогатого скота // *Ветеринария и кормление*. 2016. № 2. С. 42–43.
9. Kemboi D.C., Antonissen G., Ochieng P.E., Croubels S., Okoth S., Kangethe E.K., Faas J., Lindahl J.F., Gathumbi J.K. A review of the impact of mycotoxins on dairy cattle health: Challenges for food safety and dairy production in sub-Saharan Africa // *Toxins*. 2020. Vol. 12. № 4. P. 222. doi: 10.3390/toxins12040222
10. Makau C.M., Matofari J.W., Muliro P.S., Bebe B.O. Aflatoxin B 1 and Deoxynivalenol contamination of dairy feeds and presence of Aflatoxin M 1 contamination in milk from smallholder dairy systems in Nakuru, Kenya // *International journal of food contamination*. 2016. No. 3 (1). P. 1–10. doi: 10.1186/s40550-016-0033-7
11. Sulzberger S.A., Melnichenko S., Cardoso F.C. Effects of clay after an aflatoxin challenge on aflatoxin clearance, milk production, and metabolism of Holstein cows // *Journal of dairy science*. 2017. Vol. 100. № 3. P. 1856–1869. doi: 10.3168/jds.2016-11612
12. Valgaeren B., Théron L., Croubels S., Devreese M., De Baere S., Van Pamel E., Daeseleire E., De Boevre M., De Saeger S., Vidal A., Di Mavungu J.D., Fruhmant P., Adam G., Callebaut A., Bayrou C., Frisée V., Rao A.S., Knapp E., Sartelet A., Pardon B., Deprez P., Antonissen G. The role of roughage provision on the absorption and

disposition of the mycotoxin deoxynivalenol and its acetylated derivatives in calves: From field observations to toxicokinetics // *Archives of toxicology*. 2019. Vol. 93. P. 293–310.

13. Zhang F., Liu L., Ni S., Deng J., Liu G.-J., Middleton R., Inglis D.W., Wang S., Liu G. Turn-on Fluorescence Aptasensor on Magnetic Nanobeads for Aflatoxin M1 Detection Based on an Exonuclease III-Assisted Signal Amplification Strategy // *Nanomaterials*. 2019. Vol. 9. № 1. P. 104. doi: 10.3390/nano9010104

14. Gao Y., Li S., Wang J., Luo C., Zhao S., Zheng N. Modulation of Intestinal Epithelial Permeability in Differentiated Caco-2 Cells Exposed to Aflatoxin M1 and Ochratoxin a Individually or Collectively // *Toxins*. 2018. Vol. 10. № 1. P. 13. doi: 10.3390/toxins10010013

15. Ahn J.Y., Kim J., Cheong D.H., Hong H., Jeong J.Y., Kim B.G. An In Vitro Study on the Efficacy of Mycotoxin Sequestering Agents for Aflatoxin B1, Deoxynivalenol, and Zearalenone // *Animals*. 2022. Vol. 12. № 3. P. 333. doi: 10.3390/ani12030333

16. Xiong J.L., Wang Y.M., Nennich T.D., Li Y., Liu J.X. Transfer of dietary aflatoxin B1 to milk aflatoxin M1 and effect of inclusion of adsorbent in the diet of dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. № 4. P. 2545–2554. doi: 10.3168/jds.2013-7842

Об авторах:

Гнездилова Лариса Александровна — доктор ветеринарных наук, профессор, заведующая кафедрой диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: lag22004@mail.ru
ORCID: 0000-0003-1007-3441 SPIN-код: 2376-1425

Федотов Сергей Васильевич — доктор ветеринарных наук, профессор кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: serfv@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0004-3639 SPIN-код: 8073-1863

Мурадян Жора Юрикович — кандидат биологических наук, доцент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: zh_muradyan@mail.ru
ORCID: 0000-0003-2516-7627 SPIN-код: 4892-9182

Розинский Серафим Михайлович — ассистент кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, 109472, Российская Федерация, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: s.rozinskii@gmail.com
ORCID: 0009-0001-1937-6919 SPIN-код: 8705-3851



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-39-50

EDN: ALQLFE

УДК 619:618+619:616.9

Научная статья / Research article

Терапевтическая эффективность противомаститных препаратов в лечении субклинической и клинической форм мастита дойных коров

К.В. Шепелева  , А.К. Петров , Р.В. Рогов ,
Е.В. Куликов , И.А. Крючков 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 shepeleva-kv@rudn.ru

Аннотация. Приведены результаты изучения эффективности ветеринарных противомаститных препаратов в сравнительном аспекте при лечении субклинического и клинического маститов дойных коров. В ходе опыта были применены две схемы лечения. Коров 1-й и 3-й опытных групп лечили по традиционной для данного хозяйства схеме: интрацестернальное введение препарата «Мастигет Форте», а для лечения коров 2-й и 4-й опытных групп интрацестернально вводили Мамикур. Эффективность терапии оценивали по клиническим признакам, количеству соматических клеток в молоке, реакции на Кенотест и гематологическим показателям. Установлено, что применение препарата «Мамикур» в качестве монотерапии серозно-катарального клинического и субклинического маститов у коров хорошо переносится и дает положительный эффект при интрацестернальном введении в объеме одного шприца-дозатора трехкратно с интервалом 12 часов.

Ключевые слова: молочная железа коровы, субклинический мастит, клинический мастит, Мастигет Форте, Мамикур, соматические клетки, гематологические показатели, Кенотест

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Приведены результаты изучения противомаститных препаратов, используемых и предоставленных для научно-исследовательской работы животноводческим комплексом, на базе которого она выполнялась. Исследование проводили с целью улучшения качества терапии маститов коров в данном хозяйстве.

История статьи: поступила в редакцию 6 декабря 2023 г., принята к публикации 9 января 2024 г.

Для цитирования: Шепелева К.В., Петров А.К., Рогов Р.В., Куликов Е.В., Крючков И.А. Терапевтическая эффективность противомаститных препаратов в лечении субклинической и клинической форм мастита дойных коров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 39–50. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-39-50

© Шепелева К.В., Петров А.К., Рогов Р.В., Куликов Е.В., Крючков И.А., 2024



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

Therapeutic efficacy of antimastitis drugs in the treatment of subclinical and clinical forms of dairy cow mastitis

Kristina V. Shepeleva  , Aleksandr K. Petrov , Roman V. Rogov ,
Evgeniy V. Kulikov , Igor A. Kryuchkov 

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 shepeleva-kv@rudn.ru

Abstract. Comparative effectiveness of veterinary antimastitis drugs in the treatment of subclinical and clinical mastitis of dairy cows was studied. During the experiment, two treatment regimens were used. Cows from the 1st and 3rd experimental groups were treated according to the traditional scheme for this farm — intracisternal administration of Mastiet Forte; for the treatment of cows from the 2nd and 4th experimental groups, Mamikur was administered intracisternally. The effectiveness of therapy was assessed by clinical signs, by the number of somatic cells in milk, response to Kenotest and hematological parameters. It was established that the use of Mamikur as a monotherapy for serous-catarrhal clinical and subclinical mastitis in cows is well tolerated and gives a positive effect when administered intracisternally in the volume of one dosing syringe three times with an interval of 12 hours.

Keywords: mammary gland of cow, subclinical mastitis, clinical mastitis, Mastiet Forte, Mamikur, somatic cells, hematological parameters of blood, Kenotest

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests. The studied antimastitis drugs were provided for research by the livestock complex. The study was carried out with the aim of improving quality of treatment for cow mastitis on this farm.

Article history: Received: 6 December 2023. Accepted: 9 January 2024.

For citation: Shepeleva KV, Petrov AK, Rogov RV, Kulikov EV, Kryuchkov IA. Therapeutic efficacy of antimastitis drugs in the treatment of subclinical and clinical forms of dairy cow mastitis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):39–50. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-39-50

Введение

Мастит коров повсеместно распространен и наносит значительный экономический ущерб предприятиям перерабатывающей промышленности, производителям молока и здоровью человека [1, 2]. Ведущую роль в этиологии мастита играют микробные агенты, которые определяют особенности течения и проявления заболевания. В молоке больных маститом коров всегда обнаруживаются патогенные стрептококки, стафилококки, *E. Coli* и другие бактерии, обладающие устойчивостью к антимикробным препаратам [3–9].

Данная патология существенно снижает продуктивность и ухудшает качество молока [10, 11]. Вследствие этого увеличивается сервис-период из-за нарушения функции воспроизводительности, что приводит к проблемам в селекции крупного рогатого скота (КРС) и снижению его устойчивости к маститу [12]. Ежегодно маститом заболевают от 10 до 80 % коров дойного стада. На субклиническую форму мастита приходится до 97 % случаев [13, 14].

Мероприятия, направленные на профилактику данной патологии, своевременно снижают заболеваемость коров и помогают сократить экономические потери [15]. Лечение некоторыми препаратами не всегда оказывает положительный результат. Задача ветеринарных специалистов — определение новых высокоэффективных способов и средств терапии всех форм мастита у КРС. В качестве лекарственных средств применяют сульфаниламидные препараты, производные нитрофуранов и антимикробные вещества — антибиотики. Вышеперечисленные препараты могут приводить к снижению чувствительности микрофлоры и вызывать мастит. Это и является основной причиной поиска новых высокоэффективных антибактериальных средств от данной патологии у КРС [16, 17].

Цель исследования — изучить эффективность противомаститных препаратов «Маститет Форте» и «Мамикур» при лечении субклинической и клинической форм мастита дойных коров.

Материалы и методы исследования

Научно-исследовательская работа проводилась на базе МТФ животноводческого комплекса в Московской области. Объектом исследований служили 42 коровы черно-пестрой (голландизированной) породы живой массой 500...550 кг, с удоем 6000...7000 л/год. Из них 20 голов с признаками субклинической и 12 с клинической серозно-катаральной формой мастита. Контрольную группу сформировали из 10 здоровых коров. У опытных животных проводились все плановые диагностические мероприятия (хозяйство благополучно по бруцеллезу, лейкозу и туберкулезу). Доеение осуществлялось с помощью доильной системы Lely Astronaut. Это уникальный комплекс оборудования для контроля качества молока Lely MQC (система контроля качества молока). Во время доения происходит непрерывная проверка молока из каждой четверти вымени. Кровь у опытных животных на анализ брали утром, перед кормлением, из хвостовой вены при помощи вакуумной пробирки.

Для проведения опыта по схеме (табл. 1) было сформировано 5 групп коров.

Таблица 1

Схема опыта

Группа животных	Количество голов	Форма мастита	Препарат	Доза препарата	Кратность применения	Место введения		Контролируемые параметры
						Интрацестер-нально	Под-кожно	
Опытная № 1	10	Субклини-ческая	Маститет Форте	8 г	Каждые 12 часов до отрица-тельной пробы Кенотест	+		Клиническое исследование, гематологиче-ский анализ (до и после лечения), проба Кенотест, количественный анализ соматических клеток

Окончание табл. 1

Группа животных	Количество голов	Форма мастита	Препарат	Доза препарата	Кратность применения	Место введения		Контролируемые параметры
						Интрацистернально	Подкожно	
Опытная № 2	10	Субклиническая	Мамикур	8 г	Каждые 12 часов до отрицательной пробы Кенотест	+		Клиническое исследование, гематологический анализ (до и после лечения), проба Кенотест, количественный анализ соматических клеток
Опытная № 3	6	Клиническая	Мастьет Форте	8 г	Каждые 12 часов до улучшения клин. признаков	+		
Опытная № 4	6	Клиническая	Мамикур	8 г	Каждые 12 часов до улучшения клин. признаков	+		
Контрольная № 5	10	Здоровые	Физ. раствор	7 мл	2 раза в сутки в течение 5 дн.		+	

Коровам 1-й и 3-й опытных групп проводили лечение препаратом «Мастьет Форте» интрацистернально в пораженную долю вымени в объеме 1-го шприц-дозатора с интервалом 12 ч до выздоровления и отрицательной пробы с Кенотест.

Коровам 2-й и 4-й опытных групп проводили лечение препаратом «Мамикур» интрацистернально в пораженную долю вымени в объеме 1-го шприц-дозатора с интервалом 12 ч до выздоровления и отрицательной пробы с Кенотест.

Коровам 5-й контрольной группы (здоровые) подкожно в область вымени вводили физиологический раствор хлорида натрия по 7 мл дважды в сутки с интервалом 12 ч в течение пяти дней.

В табл. 2 представлен состав испытываемых препаратов.

Таблица 2

Состав препаратов

Препарат	Мастьет Форте	Мамикур
Форма выпуска	1 шприц-дозатор (8 г)	1 шприц-дозатор (8 г)
Состав	250 мг неомицина (в форме сульфата), 200 мг тетрациклина (в форме гидрохлорида), в качестве вспомогательных веществ – 368 мг стеарата магния и до 8 г вазелинового масла, а также 2000 МЕ бацитрацина и 10 мг преднизолона	Дексаметазон (натрия фосфат) – 0,5 мг, неомицин (сульфат) – 100 мг, клоксациллина натриевая соль – 250 мг, трипсин – 5 мг, вспомогательные вещества – белый парафин и жидкий вазелин
Производитель	Компания Intervet International B.V., Нидерланды	Laboratorios SYVA s. a. u., Avda. Parroco Pablo Diez, 49–57, 24010 Leon, Испания

Для постановки диагноза на субклинический мастит применяли пробу с Кенотестом в соответствии с инструкцией (рис. 1).

Проводили смешивание 2 мл молока из каждой четверти вымени с 2 мл раствора Кенотеста (рис. 2). После перемешивания палочкой в течение 15 с проводили учет реакции. Оценивали вязкость желе:

- отрицательная реакция — однородная жидкость (–). Мастита нет;
- сомнительная реакция — следы образования желе (\pm). Субклинический мастит;
- положительная реакция — ясно видимый сгусток (от слабого до плотного), который можно выбросить из луночки палочкой (+). Клиническая форма мастита.



Рис. 1. Взятие секрета молочной железы для проведения пробы с Кенотестом
Источник: сделано авторами



Рис. 2. Планшет (пластина) для смешивания пробы с Кенотестом
Источник: сделано авторами

А также определяли количество соматических клеток в молоке анализатором молока вискозиметрическим «Соматос-В» согласно методике — измеряли условную вязкость проб молока, смешанных с водным раствором мастоприма, по времени вытекания через капилляр. Диапазон показаний прибора от 90 до 1500 тысяч клеток в 1 см^3 молока.

Коровы, у которых после терапии клинического мастита содержание соматических клеток находилось ниже 500 тыс./1 см^3 , были полностью выздоровевшими, выше 500 тыс./1 см^3 — заболевание перешло в субклиническую форму.

В 1-ю и 2-ю группы подбирали животных с количеством соматических клеток от 500 до 950 тыс./1 см^3 .

В контрольную 5-ю группу вошли здоровые животные с количеством соматических клеток в молоке менее 500 тыс./1 см^3 .

Диагноз «клинический серозно-катаральный мастит» ставили на основании результатов клинического исследования по общепринятой методике¹. С помощью пробного доения была установлена степень нарушения функции молочной желе-

¹ Студенцов А.П., Шипилов В.С., Никитин В.Я., Петров А.М., Дюльгер Г.П., Храпцов В.В., Преображенский О.Н. Акушерство, гинекология и биотехника репродукции животных / под ред. В.Я. Никитина. М.: Колос, 2011.

зы. Выдаиванием молока с приложенным усилием определяли тонус сфинктера соска. В частности, в случае нарушения молокоотдачи наблюдали уменьшение количества и изменение состава секрета вымени: вид молока, цвет и наличие хлопьев и сгустков в нем.

Для проведения общего клинического анализа брали периферическую кровь. Анализ проводили на ветеринарном гематологическом анализаторе марки PCE-90VET (Япония) до начала опыта и после проведенной терапии. Показатель гемоглобина у животных определяли на биохимическом анализаторе Easy Touch GCНb (рис. 3.).

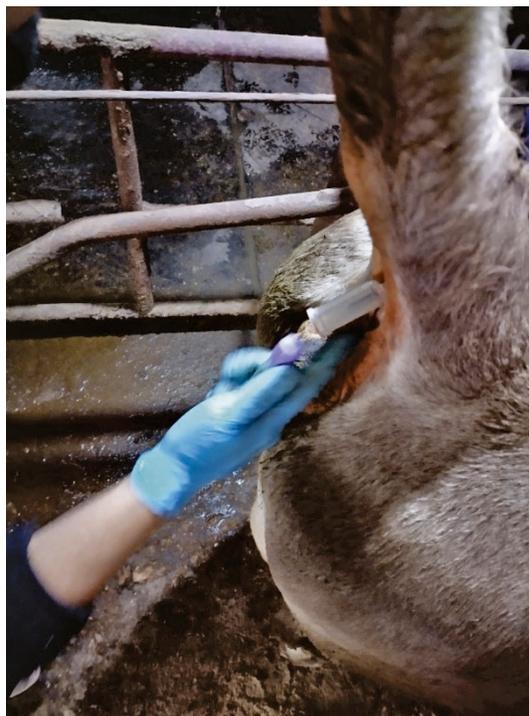


Рис. 3. Взятие крови для гематологического исследования
Источник: сделано авторами

Результаты исследования и обсуждение

При клиническом исследовании на мастит до начала лечения, на второй день и на пятый день терапии выявили следующие клинические признаки общего состояния коровы и молочной железы, описанные в табл. 3.

В начале эксперимента у коров всех опытных групп при клиническом исследовании наблюдалось незначительное угнетение общего состояния и отечность вымени. В 3-й и 4-й опытных группах наблюдалось покраснение, болезненность и уплотнение в нижней трети вымени и у основания сосков. При доении молока отмечалось выделение водной жидкости с большим количеством сгустков и хлопьев казеина. У всех опытных групп была положительная реакция на Кенотест.

Таблица 3

**Клинические признаки мастита у коров в опытных группах
до применения препарата, на 2-й и 5-й день проведенной терапии**

Признак	Группа № 1 (Маститет Форте) (n = 10)		Группа № 2 (Мамикур) (n = 10)		Группа № 3 (Маститет Форте) (n = 6)		Группа № 4 (Мамикур) (n = 6)		Группа № 5 (Контроль) (n = 10)			
	На начало лечения	2-е сутки	5-е сутки	На начало лечения	2-е сутки	5-е сутки	На начало лечения	2-е сутки	5-е сутки	На начало лече- ния	2-е сутки	5-е сут- ки
Угнетение общего состояния коровы	3	1	3	4	0	2	6	6	2	4	0	0
Покраснение	0	0	0	0	0	0	6	6	2	3	0	0
Уплотнение	0	0	0	0	0	0	6	6	4	4	1	0
Отечность	3	1	2	4	0	0	6	6	4	4	0	0
Болезненность	0	0	0	0	0	0	6	6	3	3	1	0
Повышение местной температуры вымени	0	0	0	0	0	0	6	4	1	2	0	0
Реакция на Кенотест	10	5	5	10	2	0	6	6	2	6	1	0

Динамика применяемого лечения, сутки

Примечание. В таблице указано количество животных в группах с выраженными клиническими признаками мастита на начало лечения и в процессе проводимой терапии.

При клиническом исследовании животных на второй день лечения были выявлены клинические признаки, описанные в табл. 3.

На второй день лечения при проведении реакции на Кенотест во 2-й опытной группе с субклинической формой мастита, где применяли противомаститный препарат «Мамикур», достигли отрицательного результата в 80 % случаев заболевших животных, что на 30 % выше, чем в 1-й опытной группе, где применяли Маститет Форте. В данной группе выздоровление наступило в 50 % случаев.

Лечение в 3-й и 4-й опытных групп с клинической формой мастита продолжалось, так как значительных изменения за два дня не наблюдалось.

При клиническом исследовании на пятый день лечения были клинические признаки, описанные в табл. 3. Исходя из приведенных данных наиболее выраженный терапевтический эффект наблюдали в 4-й опытной группе, где применяли препарат «Мамикур». В результате пятидневного курса терапии выздоровление наступило в 90 % случаев, что выше 3-й опытной группы на 10 %, где применяли препарат «Маститет Форте». Положительную реакцию на Кенотест наблюдали у 2 голов в 3-й группе и у 1 головы в 4-й.

По завершении лечебных мероприятий проводили подсчеты соматических клеток в молоке с применением вискозиметрического анализатора (рис. 4, табл. 4).

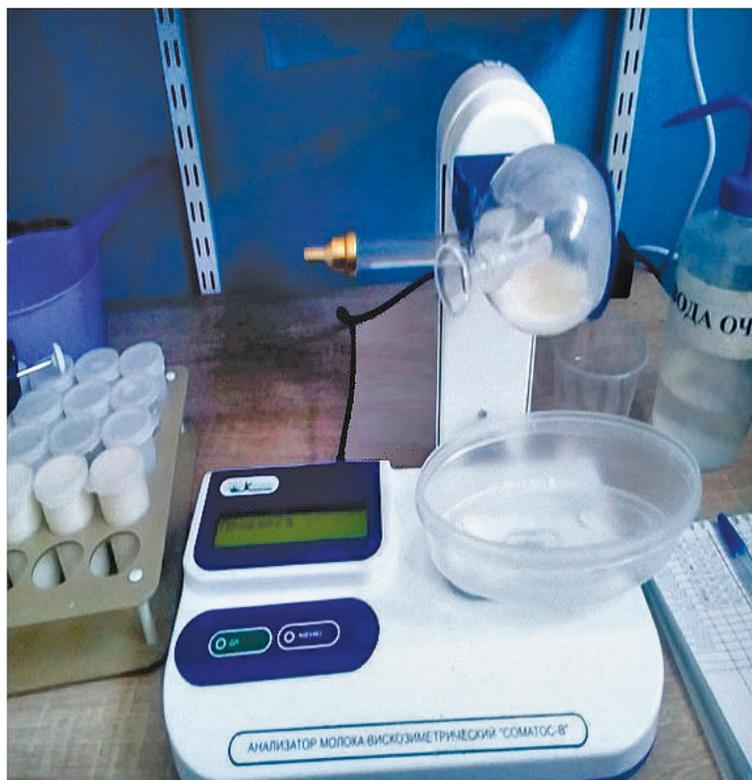


Рис. 4. Определение соматических клеток вискозиметрическим методом

Источник: сделано авторами

**Результаты подсчета соматических клеток в пробах молока у коров
с субклинической и клинической формами мастита**

Показатель	Группа 1 (n = 10)		Группа 2 (n = 10)		Группа 3 (n = 6)		Группа № 4 (n = 6)		Группа № 5 (n = 10)	
	До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
Количество соматических клеток, тыс./см ³	770,14 ± ± 73,0	654,8 ± ± 97,66	732,77 ± ± 74,25	436,0 ± ± 56,34	761,2 ± ± 75,2	628,6 ± ± 66,8	758,66 ± ± 73,96	429,83 ± ± 99,83	320,4 ± ± 99,83	334,83 ± ± 55,3

Из полученных результатов (см. табл. 4) видно, что до начала лечения у коров с субклиническим и клиническим маститом количество соматических клеток во всех опытных группах было выше нормы (более 500 клеток, тыс./см³).

После терапии в 1-й и 2-й опытных группах данный показатель достоверно понизился по сравнению с началом опыта, но только во 2-й группе после применения препарата «Мамикур» показатель пришел в норму и составил 436,0 ± 56,34.

При лечении клинической формы мастита в 3-й и 4-й опытных группах наиболее выраженный терапевтический эффект наблюдали в 4-й группе, где применяли препарат «Мамикур». Показатель достоверно снизился до нормы и составил 429,83 ± 99,83.

Результаты общего клинического анализа крови коров с субклинической и клинической формами мастита до и после лечения противомаститными препаратами приведены в табл. 5.

Как видно из табл. 5, до начала эксперимента гематологические показатели 1-й и 2-й опытных групп не имели существенных различий. У четырех животных 1-й опытной группы наблюдали незначительный лейкоцитоз (14,2; 12,8; 16,4 и 12,5×10⁹/л), что несколько повысило средний показатель количества лейкоцитов по группе. Среднее значение скорости оседания эритроцитов в 1-й группе также превышало норму (разница недостоверна). У всех опытных животных наблюдали незначительное снижение количества гемоглобина и эритроцитов.

Анализ гематологических показателей на конец эксперимента не выявил существенных изменений показателей крови. В качестве положительного момента можно отметить нормализацию количества лейкоцитов в крови у четырех животных 1-й опытной группы.

При проведении гематологического исследования в его начале у больных животных 3-й и 4-й групп наблюдали более высокую скорость оседания эритроцитов. Количество тромбоцитов и лейкоцитов также были повышены. В лейкограмме у больных животных отмечали большее по отношению к контролю количество нейтрофилов и меньшее — лимфоцитов. Тем не менее все эти показатели, кроме СОЭ, находились в пределах физиологической нормы.

У животных этих двух групп наблюдали незначительное снижение количества гемоглобина и эритроцитов.

Таблица 5

Результаты общего клинического анализа крови коров с субклинической и клинической формой мастита до и после лечения противомаститными препаратами

Показатели	Норма	Группа № 1 (n = 10)		Группа № 2 (n = 10)		Группа № 3 (n = 6)		Группа № 4 (n = 6)		Группа № 5 (n = 10)	
		До	После	До	После	До	После	До	После	До	После
Гемоглобин, г/л	90...120	84,36 ± 6,2	77,46 ± 9,1	84,27 ± 5,1	83,63 ± 7,43	83,25 ± 8,2	81,59 ± 4,1	82,21 ± 8,1	81,11 ± 7,2	83,59 ± 12,9	83,59 ± 10,5
Эритроциты, ×10 ¹² /л	5...7,5	4,62 ± 3,4	4,45 ± 1,9	5,10 ± 3,2	4,76 ± 2,5	5,39 ± 1,6	5,30 ± 1,3	5,13 ± 1,5	5,03 ± 1,4	5,46 ± 1,23	5,55 ± 1,16
СОЭ, мм/час	0,5...1,5	6,3 ± 2,5	4,7 ± 3,5	4,7 ± 3,3	2,3 ± 1,6	6,2 ± 1,5	3,6 ± 1,3	4,4 ± 1,6	3,3 ± 1,3	2,48 ± 2,33	1,84 ± 1,55
Тромбоциты, ×10 ⁹ /л	260...700	472,2 ± 48,5	406,4 ± 60,5	376,3 ± 61,4	419 ± 70,1	330,7 ± 62,5	338,5 ± 60,6	387,5 ± 61,7	377,5 ± 82,1	270,0 ± 58,8	278,0 ± 61,4
Лейкоциты, ×10 ⁹ /л	4,5...12,0	11,3 ± 1,14	10,4 ± 1,13	11,8 ± 2,13	8,6 ± 1,23	11,27 ± 1,53	9,25 ± 1,35	9,74 ± 1,15	8,67 ± 1,39	7,95 ± 1,41	7,62 ± 0,62
Лейкограмма, %											
Эозинофилы	3...8	1,55 ± 0,7	2,29 ± 1,18	2,61 ± 1,09	2,38 ± 1,15	3,18 ± 1,11	2,29 ± 1,34	2,43 ± 1,06	2,17 ± 0,78	2,12 ± 1,8	1,76 ± 0,5
Базофилы	0...2	0	0	0	0	0	0	0	0		
Мieloциты	—	0	0	0	0	0	0	0	0		
Метамиелоциты	0...1	0	0	0	0	0	0	0	0		
Палочкоядерные нейтрофилы	2...5	8,61 ± 1,4	5,15 ± 3,3	6,34 ± 3,1	4,4 ± 1,2	6,78 ± 2,5	5,59 ± 1,1	6,36 ± 2,6	5,32 ± 3,5	3,21 ± 1,2	3,3 ± 1,1
Сегментоядерные нейтрофилы	20...35	35,7 ± 6,2	31,5 ± 7,6	32,7 ± 2,5	31,4 ± 5,8	36,3 ± 10,1	29,7 ± 3,7	32,6 ± 4,5	26,3 ± 6,1	30,5 ± 3,5	35,0 ± 4,11
Моноциты	2...7	3,3 ± 2,4	2,5 ± 1,4	3,1 ± 1,7	4,2 ± 1,6	4,7 ± 2,3	4,4 ± 1,5	3,3 ± 1,8	3,1 ± 1,5	3,2 ± 0,85	3,0 ± 1,29
Лимфоциты	40...75	50,3 ± 10,4	58,2 ± 5,9	53,7 ± 4,3	55,9 ± 7,5	49,3 ± 4,6	59,7 ± 6,1	56,1 ± 7,5	61,9 ± 7,1	60,1 ± 4,42	56,6 ± 4,26

Заключение

Исследования показали, что ветеринарный препарат «Мамикур», относящийся к комбинированным антибактериальным препаратам, хорошо переносится лактирующими коровами и оказывает терапевтическое действие при субклинической и клинической серозно-катаральной форм мастита, что подтверждено отрицательной пробой Кенотест, нормализацией количества соматических клеток в молоке и результатами клинического обследования животных.

Применение Мамикура при терапии субклинического мастита в виде интрацистернального введения в объеме одного шприца-дозатора трехкратно с интервалом 12 ч дало выраженный терапевтический эффект на второй день лечения во 2-й опытной группе и привело в норму количество соматических клеток в пробах молока больных животных. Эффективность препарата на 30 % выше, чем в 1-й опытной группе, где применяли Мاستиет Форте.

Терапия серозно-катарального мастита препаратом «Мамикур» в виде интрацистернального введения в объеме одного шприца-дозатора трехкратно с интервалом 12 ч привела к выраженному терапевтическому эффекту на пятый день лечения в 4-й опытной группе. Эффективность препарата на 10 % выше, чем в 3-й опытной группе, где применяли Мاستиет Форте.

Препарат «Мамикур» можно рекомендовать к использованию в ветеринарной практике при лечении мастита у коров.

Список литературы

1. *Забашта С.Н., Назаров М.В., Дзамыхова Д.Н.* Клинико-фармакологическая оценка эффективности комплексной терапии воспаления молочной железы у коров // Сборник научных трудов. Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2018. Вып. 27. С. 217–220.
2. *Назаров М.В., Коцаев М.В., Казаринов В.А.* Физиология и патология воспроизводства коров: монография. Краснодар: ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ, 2019. 192 с.
3. *Белкин Б.Л., Комаров В.Ю., Андреев В.Б.* Мастит коров. Саарбрюккен: LAP LAMBERT, 2015. 113 с.
4. *Иванюк В.П., Бобкова Г.Н.* Влияние биохимических параметров крови глубокостельных коров на иммунобиохимический статус телят // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 5(85). С. 156–160.
5. *Sekiya T.A., Yamaguchi S.B., Iwasa Y.* Bovine mastitis and optimal disease management: Dynamic programming analysis // *Journal of Theoretical Biology*. 7 August 2020. Vol. 498. doi: 10.1016/j.jtbi.2020.110292
6. *Peralta O.A., Carrasco C., Veytes C., Tamayo M.J., Muñoz I., Sepulveda S., Tadich T., Duchens M., Melendez P., Mella A., Torres C.G.* Safety and efficacy of a mesenchymal stem cell intramammary therapy in dairy cows with experimentally induced *Staphylococcus aureus* clinical mastitis // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. № 1. doi: 10.1038/s41598-020-59724-7
7. *Круглова Ю.С., Рогов Р.В., Рязанов И.Г.* Применение препарата Мاستиет-форте в терапии субклинического мастита у дойных коров // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2020. № 2. С. 22–27. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.202002003
8. *Rudenko P., Sachivkina N., Vatnikov Y., Shabunin S., Engashev S., Kontsevaya S., Karamyan A., Bokov D., Kuznetsova O., Vasilieva E.* Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation // *Veterinary World*. 2021. Vol. 14. № 1. P. 40–48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48
9. *Руденко П.А., Руденко А.А., Ватников Ю.А.* Микробный пейзаж при маститах у коров // Вестник Ульяновской ГСХА. 2020. № 2 (50). doi: 10.18286/1816-4501-2020-2-172-179
10. *Париков В.А., Климов Н.Т., Романенко А.И., Новиков О.Г. и др.* Мастит у коров (профилактика и терапия) // Ветеринария. 2000. № 11. С. 34–35.
11. *Шахов А.Г., Мисайлов В.Д., Нежданов А.Г., Париков В.А., Притыкин Н.В., Слободяник В.И.* Неотложные задачи профилактики мастита у коров // Ветеринария. 2005. № 8. С. 3–7.

12. Гамаюнов В.М., Амиров А.Х. К оценке эффективности противомаститных препаратов для лактирующих коров // Приоритеты развития АПК в современных условиях: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конференции, посвященной 40-летию ФГБОУ ВПО «Смоленская ГСХА», Смоленск, 26–27 ноября 2014 г. / Смоленская государственная сельскохозяйственная академия. Смоленск: Универсум, 2014. С. 221–224.

13. Лаушкина Н.Н., Скробнев С.А., Скробнева К.С. Методы диагностики субклинического мастита коров в лактационный период в условиях молочного комплекса // Вестник аграрной науки. 2020. № 6(87). С. 61–65. doi: 10.17238/issn2587-666X.2020.6.61

14. Климов Н.Т., Зимников В.И., Сашнина Л.Ю., Моргунова В.И., Адодина М.И. Содержание провоспалительных цитокинов в крови и показатели иммунного статуса больных субклиническим маститом коров // Ветеринарный фармакологический вестник. 2020. № 1(10). С. 181–189. doi: 10.17238/issn2541-8203.2020.1.181

15. Черненко В.В., Ткачев М.А., Чернок Ю.Н. Эффективность разных методов диагностики мастита у коров // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4(74). С. 39–42.

16. Алиев А.Ю. Эффективный метод лечения мастита у коров // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2020. № 2(34). С. 263–267. doi: 10.36871/vet.san.hyg.ecol.202002023

17. Рогов Р.В., Люсин Е.А. Терапевтическая эффективность препарата Энрофлон гель при лечении клинического и субклинического мастита у крупного рогатого скота // Аграрная наука. 2020. № 10. С. 18–21. doi: 10.32634/0869-8155-2020-342-10-18-21

Об авторах:

Шепелева Кристина Викторовна — аспирант департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: shepeleva-kv@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-1105-2602

Петров Александр Константинович — кандидат ветеринарных наук, доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: petrov-ak@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-6152-4655 SPIN-код: 4921-0718

Рогов Роман Васильевич — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: rogov-rv@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-3010-5714 SPIN-код: 1675-5877

Куликов Евгений Владимирович — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: kulikov-ev@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-6936-2163 SPIN-код: 6199-2479

Крючков Игорь Андреевич — аспирант департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: 1042210024@rudn.ru

ORCID: 0009-0005-9085-8274



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-51-60

EDN: AMXNZZ

УДК 619:618+619:616.9

Научная статья / Research article

Устойчивость к противомикробным препаратам возбудителей маститов крупного рогатого скота

Г.М. Фирсов  , А.А. Ряднов , Т.А. Ряднова ,
З.Ч. Морозова , О.В. Будтуев 

Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград, Российская Федерация
 firsovgm@yandex.ru

Аннотация. Воспаление молочной железы — мастит — могут вызвать различные причины как физического, так и микробиологического характера. Мастит влияет на физическое и технологическое качество молока, на рост экономических затрат и увеличение себестоимости продукции, особенно за счет применяемых противомикробных препаратов. Цель исследования — изучение антибактериальной резистентности (АР) микроорганизмов, выделенных из секрета вымени коров. Исследования проводили в Октябрьском и Камышинском районах Волгоградской области в период с 2019 по 2023 гг. Обследовали 1206 образцов молока от коров голштино-фризской породы возраста 4...7 лет. Пробы исследовали стандартными микробиологическими методами. Анализ на чувствительность к противомикробным препаратам проводили на агаре Мюллера — Хинтона в модифицированном диско-диффузном методе Кирби — Бауэра. По результатам микробиологических исследований установлен микробный рост и дифференцированы 984 культуры *S. aureus*, *Str. agalactiae*, *Str. uberis*, *E. coli*, *Klebsiella spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pasteurella multocida*, *Trueperella pyogenes* и *Mycoplasma spp.* Отмечена множественная устойчивость к изучаемым антимикробным препаратам, так у *E. coli* ко всем 9, *Pseudomonas aeruginosa* к 8, *Mycoplasma spp.* к 7, *S. aureus*, *Str. agalactiae*, *Str. uberis*, *Klebsiella spp.*, *Pasteurella multocida* к 6, *Trueperella pyogenes* к одному. Постоянный мониторинг АР возбудителей маститов КРС способствует более эффективному подбору терапии клинических маститов.

Ключевые слова: голштино-фризская порода, количественное распределение, корова, экономический ущерб, терапия клинических маститов

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

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам Октябрьской и Камышинской РайСББЖ Волгоградской области и всем сотрудникам кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии Волгоградского государственного аграрного университета за помощь в проведении исследований.

История статьи: поступила в редакцию 11 ноября 2023 г., принята к публикации 11 декабря 2023 г.

© Фирсов Г.М., Ряднов А.А., Ряднова Т.А., Морозова З.Ч., Будтуев О.В., 2024



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

Для цитирования: Фирсов Г.М., Ряднов А.А., Ряднова Т.А., Морозова З.Ч., Будтуев О.В. Устойчивость к противомикробным препаратам возбудителей маститов крупного рогатого скота // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 51–60. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-51-60

Antimicrobial resistance of bovine mastitis pathogens

Grigory M. Firsov ✉, Aleksey A. Ryadnov , Tamara A. Ryadnova ,
Zoya C. Morozova , Oleg V. Budtuev 

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation
✉ firsovgm@yandex.ru

Abstract. Inflammation of mammary gland — mastitis — can be caused by various reasons, both physical and microbiological. Mastitis affects physical and technological quality of milk, growth of economic costs and increase in milk production cost, especially due to the use of antimicrobial drugs. The purpose of the research was to study antibacterial resistance of mastitis pathogens in cattle. The studies were carried out in the Oktyabrsky and Kamyshinsky districts, Volgograd region in 2019–2023. 1206 milk samples from Holstein-Friesian cows aged 4–7 years were examined using standard microbiological methods. Antimicrobial susceptibility testing was performed on Mueller — Hinton agar using a modified Kirby — Bauer disc diffusion method. Based on the results of microbiological studies, microbial growth of 984 cultures (*S. aureus*, *Str. agalactiae*, *Str. uberis*, *E. coli*, *Klebsiella spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pasteurella multocida*, *Trueperella pyogenes* and *Mycoplasma spp.*) was identified. In the study, multiple resistance to the studied antimicrobial drugs was noted, for example, *E. coli* had resistance to all 9 drugs; *Pseudomonas aeruginosa* — to 8; *Mycoplasma spp.* — to 7; *S. aureus*, *Str. agalactiae*, *Str. uberis*, *Klebsiella spp.* and *Pasteurella multocida* — to 6; *Trueperella pyogenes* to 1 drug. Constant monitoring of resistance of bovine mastitis pathogens to antimicrobial agents contributes to a more effective selection of therapy for clinical mastitis.

Keywords: Holstein-Friesian breed, quantitative distribution, cow, economic damage, therapy of clinical mastitis

Conflicts of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the staff of the Oktyabrsky and Kamyshinsky District Regional Stations for the Control of Animal Diseases in the Volgograd Region, and to the staff of Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology of Volgograd State Agrarian University for their help in conducting research.

Article history: Received: 11 November 2023. Accepted: 11 December 2023.

For citation: Firsov GM, Ryadnov AA, Ryadnova TA, Morozova ZC, Budtuev OV. Antimicrobial resistance of bovine mastitis pathogens. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):51–60. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-51-60

Введение

Мастит — воспаление вымени (молочной железы) под влиянием различных причин воздействия как физического, так и микробиологического характера [1–7]. Мастит влияет на количество производимого молока, его физическое и технологическое качество, что приводит к существенному росту экономических затрат

и снижает экономическую эффективность производства. Заболевание маститом часто встречается в молочном животноводстве во всем мире, его терапия является самой дорогостоящей и наиболее финансово затратной в большей степени по причине широкого использования противомикробных препаратов [1–7].

К патогенным возбудителям мастита относят патогенные стафилококки (например *S. aureus*), патогенные стрептококки (такие, как *Str. agalactiae*) и микоплазмы (*Mycoplasma spp.*), однако такие как кишечная палочка (*E. coli*), стрептококки (*S. dysgalactiae*, *Str. pyogenes*, *Str. uberis*), клебсиеллы (*Klebsiella spp.*), псевдомона (*Pseudomonas aeruginosa*) и гноеродные факультативные анаэробные бактерии *Trueperella pyogenes* являются условно-патогенными [8].

Использование антимикробных препаратов, в частности антибиотиков — наиболее широко используемый метод терапии маститов и снижения их распространения у коров. Но тяжелым побочным эффектом несоблюдения правил использования антибиотиков при лечении инфекций (в т. ч. маститов) является приобретение микроорганизмами устойчивости к этим препаратам. Особенно актуально это при широком неконтролируемом применении антибиотиков, в частности без микробиологического контроля чувствительности возбудителей [1–12]. Исследования антимикробной чувствительности возбудителей мастита для контроля за заболеванием необходимы и чрезвычайно актуальны. Возникновение устойчивости возбудителей, вызывающих маститы у крупного рогатого скота (КРС), негативно сказывается на контроле эффективности терапии этого заболевания, т. е. исследование устойчивости к противомикробным препаратам (УПП) непосредственно влияет на эффективность проводимой терапии. Нужно учитывать, что уровни проявления антимикробной устойчивости изменяются со временем, переоцениваются практически ежегодно для актуализации информации об изменении уровней УПП [7].

Цель исследования — изучение антибактериальной резистентности микроорганизмов, выделенных из секрета вымени коров.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в Октябрьском и Камышинском районах Волгоградской области с 2019 по 2023 гг. За этот период обследовали 1206 образцов молока на наличие в нем возбудителей мастита с их идентификацией до родов и видов. Все пробы получили от коров голштино-фризской породы возраста 4–7 лет. У всех коров предварительно был поставлен диагноз «клинический мастит» по результатам клинического и лабораторного исследований. До момента забора проб животным не проводили терапию антимикробными препаратами. Все отобранные образцы помещали в стерильные пробирки и по холодной цепи направляли в лабораторию кафедры для дальнейшего исследования.

Все отобранные пробы исследовали стандартными микробиологическими методами. Для исследования бактериальных культур отбирали образец объемом 50 мкл, который наносили штрихами в стерильные полимерные чашки Петри с Колумбийским агаром, агаром МакКонки («Биомедиа», Россия) и агаром Левина с метилено-

вым синим и эозином (НПО «Питательные среды», Россия). Чашки распределили на серии, одну подвергали инкубации при аэробных условиях, другую в анаэробной станции YU-M (Китай) в атмосфере 10 % CO₂ при 37 °С 48–72 часа. Для идентификации грампозитивных и грамотригативных бактерий и дрожжей использовали наборы RapID™ (BioVitrum, Россия) и API® (ООО «биоМерье Рус», Россия).

Стрептококки (*Streptococcus spp.*) и коринебактерии (*Corynebacterium spp.*) идентифицировали по их морфологическим характеристикам, тинкториальным свойствам при окраске по Граму, исследованием при прямой световой микроскопии с использованием микроскопа Биоптик С-400 (Биомед, Россия) и по их ферментационным (биохимическим) свойствам.

Микоплазм выделяли на агаре PPLO (HiMedia Laboratories, Индия), на котором производили посев по 50 мкл проб молока и проводили анаэробную инкубацию при 37 °С в атмосфере с 10 % CO₂ в течение недели. Идентификацию до рода микроорганизмов проводили, изучая на чашках характер колоний с помощью стереомикроскопа Olympus-SZ61 (Япония).

Для анализа на чувствительность к противомикробным препаратам использовали агар Мюллера — Хинтона («Биомедиа», Россия) в модифицированном диско-диффузном методе Кирби — Бауэра [13, 14].

Для проведения тестов использовали картриджи с тест-дисками противомикробных препаратов Bioanalyse (Турция). В тестировании испытали тест-диски со следующими антимикробными препаратами: пенициллины — ампициллин, пенициллин, пенициллины в комбинациях — амоксициллин+клавулановая кислота (амоксиклав), тетрациклины — тетрациклин, окситетрациклин, аминогликозиды — гентамицин, цефалоспорины — цефалексин, цефтиофул, комбинированные сульфаниламиды — ко-тримоксазол (сульфаметоксазол+триметоприм). В качестве контроля за исследованием *in vitro* применяли микробные штаммы эталонных культур *E. coli* (ATCC 25922) и *S. aureus* (ATCC 25923).

Для статистического анализа данных использовали программу Biostat LE for Excel® (AnalistSoft, Россия).

Результаты исследования и обсуждение

Независимо от формы течения болезни (клинической или субклинической) мастит у коров наносит большой экономический ущерб. Это сложное и в большинстве своем инфекционной природы заболевание вымени у КРС, ведущее к снижению качества молока и надоев. С учетом спроса на молоко в мире и вопросов импортозамещения продовольственных товаров экономический ущерб может быть значительным. Например, М.В. Корнелаева, Г.Г. Карликова отмечают большее влияние мастита на уровень удоя коров, нежели влияние других заболеваний [14]. N. Wang и др. указывают на огромный экономический ущерб от мастита [15]. Для адекватности ведения терапевтического воздействия необходимо выбирать соответствующий противомикробный препарат для контроля за заболеванием и предотвращения дальнейшего развития микробной устойчивости

возбудителей мастита у коров. Были изучены свойства штаммов возбудителей бактериальной природы, выделенных из проб молока коров с установленным диагнозом «клинический мастит».

К получению отрицательных результатов бактериологического исследования могут приводить факторы низкой концентрации микроорганизмов, недостаточный уровень квалификации при выполнении лабораторного исследования, недостаточное время экспозиции микробиологических проб и т.д. Согласно С.А. Макавчик на ложно негативные результаты бактериологического исследования может оказывать влияние бактериостатическая и бактериолитическая активность молока или молозива за счет биологически активных компонентов (лизозим, лейкоциты и др.) [16]. Инфицирование бактериями происходит не всегда. Многие авторы утверждают, что причинами мастита могут быть вирусы, грибки, дрожжи [10, 11]. Как отмечают О.Т. Экхорутомвен, Г.Ф. Медведев мастит у коров может быть ответом на факторы травматического или токсического происхождения [4]. Мы не наблюдали роста микробных культур в 222 пробах из 1206 обследованных, что составило 18,41 %. Турецкие исследователи О. Ardicli, S.K. Demirbilek, K.T. Carli показали сопоставимые результаты — 18,36 % [9]. Количественное распределение выделенных микроорганизмов по годам отображено на рис. 1.

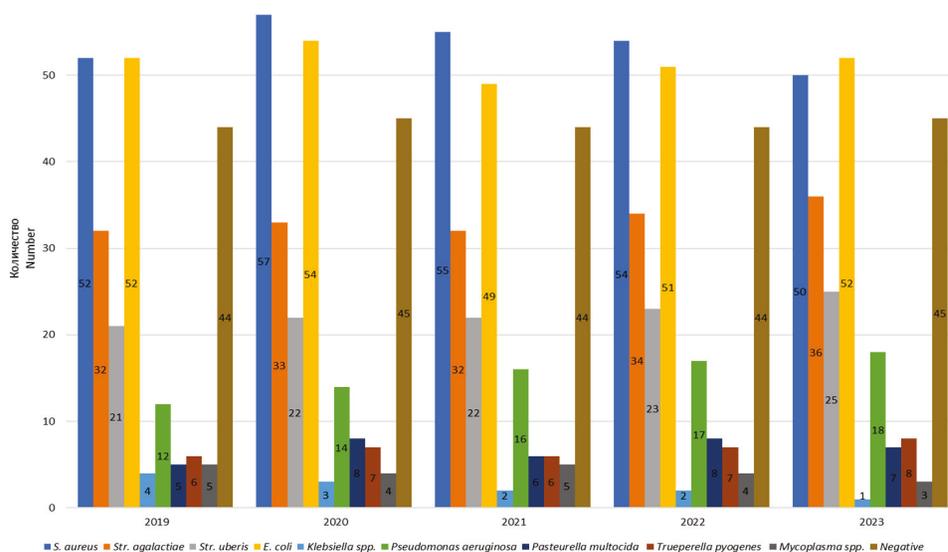


Рис. 1. Количественное распределение выделенных микроорганизмов по годам

Источник: сделано авторами

Fig. 1. Quantitative distribution of isolated microorganisms by years

Source: created by the authors

В результате проведенных микробиологических исследований установлен микробный рост и дифференцированы 984 культуры, из которых основную массу составили *S. aureus* и *E. coli* по 268 (22,22 %) и 258 (21,39 %) изолятов соответственно. Не менее значимые

показатели были получены и для стрептококков *Str. agalactiae* — 167 (13,85 %) и *Str. uberis* — 113 (9,37 %). Распределение других возбудителей маститов КРС было следующим. Из условно патогенных микроорганизмов свою долю заняли *Pseudomonas aeruginosa* 77 (6,38 %), *Pasteurella multocida* 34 (2,82 %), *Trueperella pyogenes* 34 (2,82 %) и *Klebsiella spp.* 12 (1 %). Представители рода микоплазм *Mycoplasma spp.* были зарегистрированы в 21 случае (1,74 %). Все эти возбудители встречались в форме моноинфекций — 22 % и смешанных инфекций — 78 %. Особенно это было характерно для стрептококков *Str. agalactiae* и *Str. uberis*. Однако, П.А. Руденко, А.А. Руденко, Ю.А. Ватников отмечают наличие микробных ассоциаций среди возбудителей мастита у коров от 2 до 7 возбудителей [17]. Количественное распределение устойчивых изолятов за пятилетний период показано на рис. 2. Необходимо отметить, что количество выделенных проб *E. coli* уменьшилось с 57 в 2020 г. до 50 в 2023 г., т.е. на 12,28 %, *S. aureus* с 54 в 2020 г. до 51 в 2022 г. соответственно на 5,88 %. Аналогичное снижение количества положительных результатов отмечается и у *Klebsiella spp.* с 4 в 2019 г. и до 1 в 2023 г., хотя тенденция более выражена и достигает 400 %. У *Mycoplasma spp.* эти показатели отмечаются на уровне 5 в 2019 и 2021 гг., снижаясь до 3 в 2023 г., соответственно на 60 %. Было бы справедливо отметить, что на этих возбудителей оказывают воздействие как факторы внешней среды (характер содержания, особенности соблюдения гигиены, практика доения, особенности профилактических мероприятий и т.д.), так и состояние внутренней среды организма коров (защитные факторы иммунитета, гормональный фон и т.д.). Это отмечается как российскими исследованиями [7, 10], так и зарубежными [8, 9].

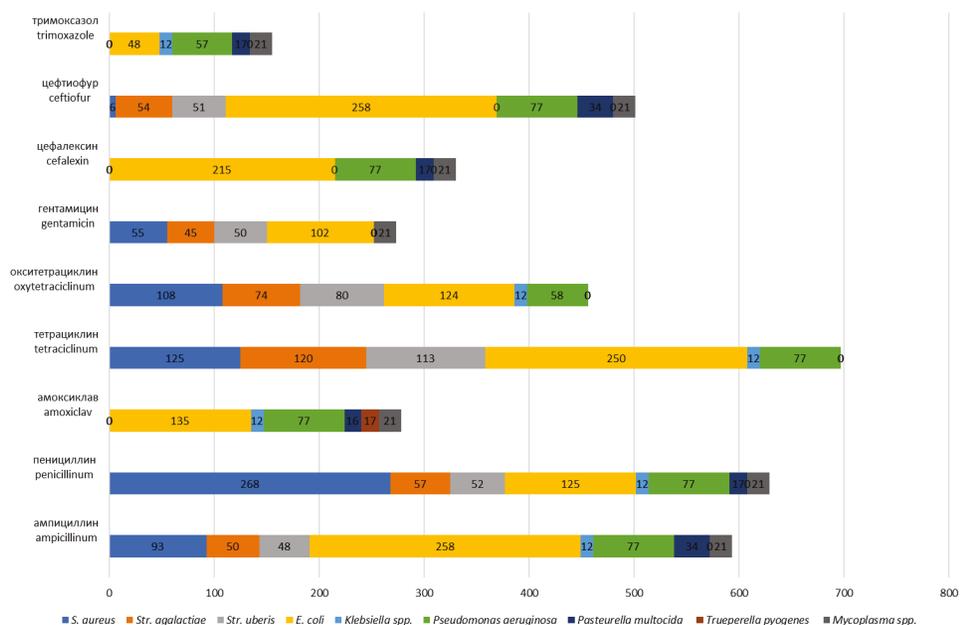


Рис. 2. Количественное распределение устойчивых изолятов выделенных микроорганизмов (за 5 лет)

Источник: сделано авторами

Fig. 2. Quantitative distribution of resistant isolates of the microorganisms (for 5 years)

Source: created by the authors

Необходимо подчеркнуть, что исследование УПП возбудителей помимо их выделения и идентификации — основа противомикробной терапии при клинических маститах, что позволяет выбрать адекватные и доступные средства терапии клинического мастита.

При проведении исследований устойчивости к противомикробным препаратам было выявлено 100 % устойчивости *E. coli* к препаратам ампициллин и цефтиофур, *Pseudomonas aeruginosa* — к ампициллину, пенициллину, амоксицилаву, цефалексину и цефтиофуру, *Pasteurella multocida* — ампициллину и цефтиофуру, *Mycoplasma spp.* — ампициллину, пенициллину, амоксицилаву, гентамицину, цефалексину, цефтиофуру и тримоксазолу, *Str. uberis* к тетрациклину и *S. aureus* к пенициллину. Устойчивость к противомикробным препаратам более чем у 40 % штаммов установлено у *S. aureus* к тетрациклину (46,64 %) и окситетрациклину (40,3 %), *Str. agalactiae* к тетрациклину (71,86 %) и окситетрациклину (40,31 %), *Str. uberis* к окситетрациклину (70,8 %), ампициллину (42,48 %), пенициллину (46,02 %), цефтиофуру (45,13 %) и гентамицину (44,25 %). *E. coli* показала высокую устойчивость к тетрациклину (96,9 %), цефалексину (83,33 %), пенициллину (48,45 %), окситетрациклину (48,06 %) и гентамицину (39,53 %), *Pseudomonas aeruginosa* (74,03 %) к тримоксазолу, *Pasteurella multocida* к пенициллину и тримоксазолу (по 50 %) и амоксицилаву (47,6 %), *Trueperella pyogenes* (50 %) к амоксицилаву. Кроме того, наблюдалась умеренная устойчивость *S. aureus* к ампициллину (34,7 %), гентамицину (20,52 %), цефтиофуру (2,24 %), *Str. agalactiae* к пенициллину (34,13 %), цефтиофуру (32,34 %), ампициллину (29,94 %), гентамицину (26,95 %), *E. coli* к гентамицину (39,53 %) и тримоксазолу (18,6 %).

В ходе исследования мы отметили множественную устойчивость к изучаемым антимикробным препаратам, так у *E. coli* ко всем 9, *Pseudomonas aeruginosa* к 8, *Mycoplasma spp.* к 7, *S. aureus*, *Str. agalactiae*, *Str. uberis*, *Klebsiella spp.*, *Pasteurella multocida* к 6, *Trueperella pyogenes* к одному препарату. O. Ardicli, S.K. Demirbilek, K.T. Carli отмечают похожие результаты при исследовании микробной чувствительности с 10 антимикробными препаратами [9]. Благодаря результатам исследований можно констатировать: устойчивость к антимикробным препаратам является значительной проблемой при терапии клинического мастита у коров. Наибольшую роль, по нашему мнению, играет не антимикробная резистентность к конкретным препаратам, а их доступность и относительная дешевизна в ветеринарной практике.

Заключение

Мы провели микробиологическое исследование на наличие возбудителей клинического мастита у коров и определение их устойчивости к противомикробным препаратам. Наиболее часто выделялись грам-негативные кокки — *S. aureus*, *Str. agalactiae*, *Str. uberis* и грам-негативные палочки — *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*. Менее часто встречались грам-негативная *Pasteurella multocida* и *Klebsiella spp.* и грам-позитивная *Trueperella pyogenes*. Также были выделены культуры *Mycoplasma spp.*, *S. aureus* по нашим наблюдениям проявил высокую устойчивость к тетрацикли-

нам. *E. coli* проявила лекарственную устойчивость к тетрациклинам (тетрациклин) и цефалоспорином (цефалексин, цефтиофул). Вызывает тревогу повышение лекарственной устойчивости, особенно к препаратам, широко используемым и рекомендуемым при лечении клинических маститов. Таким образом, постоянный мониторинг устойчивости к противомикробным препаратам возбудителей маститов КРС способствует более эффективному подбору терапии клинических маститов.

Список литературы

1. *Fredebeul-Krein F., Schmenger A., Wente N., Zhang Y., Krömker V.* Factors associated with the severity of clinical mastitis // *Pathogens*. 2022. Vol. 11. № 10. P. 1089. doi: 10.3390/pathogens11101089
2. *Puerto M.A., Shepley E., Cue R.I., Warner D., Dubuc J., Vasseur E.* The hidden cost of disease: I. Impact of the first incidence of mastitis on production and economic indicators of primiparous dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104. № 7. pp. 7932–7943. doi: 10.3168/jds.2020-19584
3. *Ладанова М.А., Джавадов Э.Д., Племяшов К.В., Стекольников А.А., Новикова О.Б.* Современный взгляд на этиологию, патогенез и диагностику мастита у коров // *Международный вестник ветеринарии*. 2021. № 4. С. 29–34. doi: 10.52419/issn2072-2419.2021.4.29
4. *Эхорутмовен О.Т., Медведев Г.Ф.* Видовой состав микроорганизмов и их чувствительность к антибиотическим препаратам при маститах у коров // *Животноводство и ветеринарная медицина*. 2022. № 1. С. 28–33.
5. *Lavaee M., Eidi S., Khoramian B.* High prevalence of *Prototheca* spp. and isolation of fungal species in milk samples from cows suffering from mastitis in Mashhad city, northeast Iran // *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*. 2019. Vol. 11. № 2. pp. 21–26. doi: 10.22067/veterinary.v11i2.81838
6. *Kurt S., Eşki F.* Pathogen isolation and antibiogram analysis in dairy cows with clinical mastitis in Adana region, Turkey // *Etilik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*. 2021. Vol. 32. № 1. pp. 20–26. doi: 10.35864/evmd.906990
7. *Фирсов Г.М., Ряднов А.А., Морозова З.Ч., Ряднова Т.А., Фирсова Ю.Г., Резяпкина Е.А., Нустратова М.В.* Взаимосвязь между количеством соматических клеток и патогенных микроорганизмов в коровьем молоке // *Аграрная Россия*. 2023. № 7. С. 31–35. doi: 10.30906/1999-5636-2023-7-31-35
8. *Kanwar R., Aslam M.A., Zulqurnain H., Qadeer A., Ali S., Nayab S., Mustafa S.* Bacteriophages and Their Endolysin: An Alternative Therapeutic Approach for Bovine Mastitis // *Biology Bulletin Reviews*. 2023. Vol. 13. № 4. Pp. 326–335. doi: 10.1134/S2079086423040059
9. *Ardicli O., Demirbilek S.K., Carli K.T.* Pathogens isolated from bovine clinical mastitis and their antimicrobial resistance // *Medycyna Weterynaryjna*. 2022. Vol. 78. № 1. pp. 19–24. doi: 10.21521/mw.6606
10. *Rudenko P., Sachivkina N., Vatnikov Y., Shabunin S., Engashev S., Kontsevaya S., Karamyan A., Bokov D., Kuznetsova O., Vasilieva E.* Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation // *Veterinary World*. 2021. Vol. 14. No. 1. pp. 40–48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48
11. *Morales-Ubaldo A.L., Rivero-Perez N., Valladares-Carranza B., Velázquez-Ordoñez V., Delgadillo-Ruiz L., Zaragoza-Bastida A.* Bovine mastitis, a worldwide impact disease: Prevalence, antimicrobial resistance, and viable alternative approaches // *Veterinary and Animal Science*. 2023. Vol. 21. P. 100306. doi: 10.1016/j.vas.2023.100306
12. CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Disk and Dilution Susceptibility Tests for Bacteria Isolated from Animals. 5th ed. CLSI supplement VET01 Clinical and Laboratory Standards Institute; Pennsylvania, USA. 2018. 19 p.
13. *Tommasoni C., Fiore E., Lisuzzo A., Gianesella M.* Mastitis in Dairy Cattle: On-Farm Diagnostics and Future Perspectives // *Animals*. 2023. Vol. 13. № 15. P. 2538. doi: 10.3390/ani13152538
14. *Карликова Г.Г., Корнелаева М.В.* Воспроизводительные способности и молочная продуктивность коров в зависимости от физиологического статуса в период лактации // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2022. Т. 17. № 4. С. 484–498. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-484-498
15. *Wang N., Zhou C., Basang W., Zhu Y., Wang X., Li C., Chen L., Zhou X.* Mechanisms by which mastitis affects reproduction in dairy cow: A review // *Reproduction in Domestic Animals*. 2021. Vol. 56. No. 9. P. 1165–1175. doi: 10.1111/rda.13953
16. *Макавичик С.А.* Эффективность определения *Mycoplasma bovis* в молоке коров при маститах с использованием полимеразной цепной реакции в режиме реального времени на микрочипе с лиофилизированными тест-системами // *Международный вестник ветеринарии*. 2019. № 2. С. 11–16.

17. Руденко П.А., Руденко А.А., Ватников Ю.А. Микробный пейзаж при маститах у коров // Вестник Ульяновской ГСХА. 2020. № 2 (50). С. 172–179. doi: 10.18286/1816-4501-2020-2-172-179

References

1. Fredebeul-Krein F, Schmenger A, Wente N, Zhang Y, Krömker V. Factors associated with the severity of clinical mastitis. *Pathogens*. 2022;11(10):1089. doi: 10.3390/pathogens11101089
2. Puerto MA, Shepley E, Cue RI, Warner D, Dubuc J, Vasseur E. The hidden cost of disease: I. Impact of the first incidence of mastitis on production and economic indicators of primiparous dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(7):7932–7943. doi: 10.3168/jds.2020-19584
3. Ladanova MA, Javadov ED, Plemyashov KV, Stekolnikov AA, Novikova OB. Modern view on the etiology, pathogenesis and diagnosis of mastitis in cows. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2021;(4):29–34. (In Russ.). doi: 10.52419/issn2072-2419.2021.4.29
4. Ekkhorutomven OT, Medvedev GF. Species composition of microorganisms and their sensitivity to antibiotic drugs in case of mastitis in cows. *Animal agriculture and veterinary medicine*. 2022;(1):28–33. (In Russ.).
5. Lavaee M, Eidi S, Khoramian B. High prevalence of *Prototheca* spp. and isolation of fungal species in milk samples from cows suffering from mastitis in Mashhad city, northeast Iran. *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*. 2019;11(2):21–26. doi: 10.22067/veterinary.v11i2.81838
6. Kurt S, Eşki F. Pathogen isolation and antibiogram analysis in dairy cows with clinical mastitis in Adana region, Turkey. *Etilik Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*. 2021;32(1):20–26. doi: 10.35864/evmd.906990
7. Firsov GM, Ryadnov AA, Morozova ZC, Ryadnova TA, Firsova YG, Rezyapkina EA, et al. Relationship between the number of somatic cells and pathogens in cow's milk. *Agrarian Russia*. 2023;(7):31–35. doi: 10.30906/1999-5636-2023-7-31-35
8. Kanwar R, Aslam MA, Zulqurnain H, Qadeer A, Ali S, Nayab S, et al. Bacteriophages and their endolysin: an alternative therapeutic approach for bovine mastitis. *Biol Bull Rev*. 2023;13(4):326–335. doi: 10.1134/S2079086423040059
9. Ardicli O, Demirbilek SK, Carli KT. Pathogens isolated from bovine clinical mastitis and their antimicrobial resistance. *Medycyna Weterynaryjna*. 2022;78(1):19–24. doi: 10.21521/mw.6606
10. Rudenko P, Sachivkina N, Vatnikov Y, Shabunin S, Engashev S, Kontsevaya S, et al. Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation. *Veterinary World*. 2021;14(1):40–48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48
11. Morales-Ubaldo AL, Rivero-Perez N, Valladares-Carranza B, Velázquez-Ordoñez V, Delgadillo-Ruiz L, Zaragoza-Bastida A. Bovine mastitis, a worldwide impact disease: Prevalence, antimicrobial resistance, and viable alternative approaches. *Veterinary and Animal Science*. 2023;21:100306. doi: 10.1016/j.vas.2023.100306
12. CLSI. *Performance Standards for Antimicrobial Disk and Dilution Susceptibility Tests for Bacteria Isolated from Animals*. 5th ed. Pennsylvania, USA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2018.
13. Tommasoni C, Fiore E, Lisuzzo A, Ganesella M. Mastitis in Dairy Cattle: On-Farm Diagnostics and Future Perspectives. *Animals*. 2023;13(15):2538. doi: 10.3390/ani13152538
14. Kornelaeva MV, Karlikova GG. Reproductive capacity and milk production of cows depending on their physiological status during lactation. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(4):484–498. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-484-498
15. Wang N, Zhou C, Basang W, Zhu Y, Wang X, Li C, et al. Mechanisms by which mastitis affects reproduction in dairy cows: A review. *Reproduction in Domestic Animals*. 2021;56(9):1165–1175. doi: 10.1111/rda.13953
16. Makavchik SA. Efficiency of definition of *Mycoplasma bovis* in milk cows with mastitis using a polymerase chain reaction in the real time on a microchip with liophilized systems. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2019;(2):11–16. (In Russ.).
17. Rudenko PA, Rudenko AA, Vatnikov YA. Microbial landscape in cows mastitis. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;(2):172–178. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2020-2-172-179

Об авторах:

Фирсов Григорий Михайлович — кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26; e-mail: firsovgm@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1262-6532 SPIN: 8781–7218

Ряднов Алексей Анатольевич — доктор биологических наук, заведующий кафедрой ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26; e-mail: radnov@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6381-9353 SPIN: 3533–9646

Ряднова Тамара Александровна — кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26; e-mail: radnova@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-9623-5311 SPIN: 5853–4130

Морозова Зоя Черменовна — кандидат биологических наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26; e-mail: zoyachermen@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3344-6071 SPIN: 3420–5301

Будтуев Олег Валерьевич — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, заразных болезней и морфологии, Волгоградский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, пр-т Университетский, д. 26; e-mail: olegbudtuev@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-5669-0130 SPIN: 2710–4987

About authors:

Firsov Grigory Mikhailovich — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology, Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: firsovgm@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-1262-6532 SPIN: 8781–7218

Ryadnov Aleksey Anatolyevich — Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology, Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: radnov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6381-9353 SPIN: 3533–9646

Ryadnova Tamara Aleksandrovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology, Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: radnova@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-9623-5311 SPIN: 5853–4130

Morozova Zoya Chermenovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology, Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: zoyachermen@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3344-6071 SPIN: 3420–5301

Budtuev Oleg Valerievich — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Veterinary and Sanitary Expertise, Infectious Diseases and Morphology, Volgograd State Agrarian University, 26 Universitetsky ave., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: olegbudtuev@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-5669-0130 SPIN: 2710–4987



Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-61-75

EDN: AONXDE

УДК 633.11:631.8:631.421.1 (571.13)

Научная статья / Research article

Применение азотных удобрений под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве в Омском Прииртышье

Н.А. Воронкова , Н.А. Цыганова , Н.Ф. Балабанова ,
В.А. Волкова  , И.В. Пахотина 

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Российская Федерация

 volkovava1989@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты исследования эффективности дробного внесения азотных удобрений при возделывании яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Мелодия в условиях Омского Прииртышья на лугово-черноземной среднемошной среднегумусовой тяжелосуглинистой почве. Цель исследований — установить эффективность дробного внесения азотных удобрений в зависимости от уровня обеспеченности лугово-черноземной почвы подвижным фосфором на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Омского Прииртышья. Для решения поставленной цели был заложен трехфакторный полевой опыт (2×4×2). Фактор А — фосфорный фон: 1) без применения удобрений; 2) внесение P₃₀, д.в./га; фактор В — основное внесение аммиачной селитры в возрастающих дозах: 0, N₃₀, N₄₅, N₆₀; фактор С — некорневая подкормка ПЛАВом (смесь аммиачной селитры и карбамида) в дозе N₃₀: 1) однократная в фазу колошения; 2) двукратная в фазы колошения и молочной спелости. Установлено, что наиболее эффективно основное внесение азотно-фосфорных удобрений в дозах N₃₀₋₄₅P₃₀, урожайность в этих вариантах возросла на 40...48 % в сравнении с неудобренным фоном за счет увеличения массы тысячи зерен (r = 0,40...0,42), продуктивной кустистости (r = 0,83). Агрономическая окупаемость 1 кг д.в./га внесенных удобрений в этих вариантах составила 21,5 и 19,9 кг зерна и 7,5 и 6,1 кг прибавкой в сборе белка. Применение поздних некорневых азотных подкормок независимо от их кратности

© Воронкова Н.А., Цыганова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Пахотина И.В., 2024



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

не повлияло на повышение урожайности и качества зерна пшеницы. Таким образом, дробное внесение азотных удобрений в годы с недостаточным увлажнением (ГТК 0,6–0,7) нецелесообразно.

Ключевые слова: яровая мягкая пшеница, подвижный фосфор, *Triticum aestivum* L., дробное внесение, подкормка, урожайность, качество зерна

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

Финансирование. Благодарности. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (тема № FNUN-2022–0015).

История статьи: поступила в редакцию 29 мая 2023 г., принята к публикации 26 декабря 2023 г.

Для цитирования: Воронкова Н.А., Цыганова Н.А., Балабанова Н.Ф., Волкова В.А., Пахотина И.В. Применение азотных удобрений под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве в Омском Прииртышье // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 61–75. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-61-75

Application of nitrogen fertilizers to spring wheat on meadow-chernozem soil in the Omsk Irtysh region

Natalya A. Voronkova , Nadezhda A. Tsyganova ,

Natalya F. Balabanova , Victoria A. Volkova ✉, Irina V. Pakhotina 

Omsk Agricultural Research Center, Omsk, Russian Federation

✉ volkovava1989@yandex.ru

Abstract. The effectiveness of fractional application of nitrogen fertilizers in cultivation of spring common wheat was studied in the conditions of the Omsk Irtysh region on meadow-chernozem medium-sized medium-humus heavy loamy soil. The research object was spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. ‘Melodiya’. The purpose of the research was to establish the effectiveness of fractional application of nitrogen fertilizers depending on the level of labile phosphorus in meadow-chernozem soil on yield and grain quality of spring common wheat in the conditions of the Omsk Irtysh region. The field experiment had three factors (2×4×2): Factor A — phosphorus background: 1. No fertilizers; 2. Application of P₃₀ a.i./ha; factor B — main application of ammonium nitrate in increasing doses: 0, N₃₀, N₄₅, N₆₀; factor C — foliar feeding with ammonium nitrate and carbamide at a dose of N₃₀: 1. Once in heading stage; 2. Twice in heading stage and milky ripeness. It was found that the most effective was main application of nitrogen-phosphorus fertilizers in doses of N₃₀₋₄₅P₃₀; crop productivity in these variants increases by 40...48 % in comparison with the nonfertilized variants due to the gain in 1000-seed weight (r = 0.40...0.42), productive stooling (r = 0.83). The agronomic profitability of one kg of a.i./ha applied fertilizers in these variants was 21.5 and 19.9 kg of grain with 7.5 and 6.1 kg increase in protein content, respectively. Late foliar sprayings, regardless of their number, did not increase crop productivity and quality of wheat grain. Thus, fractional application of nitrogen fertilizers in years with insufficient moisture levels (hydrothermal index 0.6–0.7) is not effective.

Keywords: spring common wheat, labile phosphorus, *Triticum aestivum* L., fractional application, top dressing, yield, grain quality

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

Funding. Acknowledgements. The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state order of Omsk Agricultural Research Center (No. FNUN-2022–0015).

Article history: Received: 29 May 2023. Accepted: 26 December 2023.

For citation: Voronkova NA, Tsyganova NA, Balabanova NF, Volkova VA, Pakhotina IV. Application of nitrogen fertilizers to spring wheat on meadow-chernozem soil in the Omsk Irtysh region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):61–75. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-61-75

Введение

Яровая пшеница — важнейшая зерновая культура, обеспечивающая около 23 % мирового производства зерна. В настоящее время в структуре возделываемых в РФ культур она занимает более 72 % посевной площади зерновых и зернобобовых культур. Сибирская пшеница, благодаря почвенно-климатическим особенностям региона, а также в силу сортовой специфики, отличается высокими технологическими свойствами. В то же время средняя урожайность пшеницы в регионе находится на уровне 1,50...1,80 т/га и менее, что связано с засушливостью климата в последние годы, нарушением зональных агротехнологий, ограниченным применением удобрений и другими факторами [1]. Одним из ведущих приемов, обеспечивающих высокую продуктивность агроценозов и получение высококачественной продукции, является применение удобрений [2–4].

Многочисленными полевыми исследованиями с удобрениями [4–6] установлено, что урожайность и качество зерна сельскохозяйственных культур, в т. ч. и пшеницы, обеспечивается только при таком режиме минерального питания, при котором достигается сбалансированное соотношение азота, фосфора и калия. Агрохимическое обследование Омской области в последнее десятилетие отмечает низкую и очень низкую обеспеченность пахотных почв доступным азотом [7], в особенности по непаровым предшественникам, что при неравномерной обеспеченности пашни фосфором и калием требует, в первую очередь, регулирования азотного питания. Так, в фазу кущения потребление азота яровой пшеницей составляет 20 %, к периоду выхода в трубку поглощается до 45, к колошению — до 98 % от общего количества [8]. Дефицит азота невозможно компенсировать применением его в последующие фазы. Одним из источников реализации потребности в азоте является внесение азотсодержащих удобрений. На применение азотных удобрений растения пшеницы реагирует по-разному и в этой связи важно выявить их эффективность, особенно в критические фазы, когда отзывчивость культуры на удобрение достаточно высока [9].

Изучению реакции различных культур и сортов сельскохозяйственных культур на сроки, нормы применения азотных удобрений посвящены исследования сибирских ученых [9–12]. Актуальными становятся вопросы по форме применения этих удобрений и дифференциации по фазам развития растений. На черноземных почвах Центрально-Черноземной зоны установлена высокая эффективность жидкого карбамидно-аммиачного удобрения в дозе N_{30} в фазу кущения яровой мягкой пшеницы в сочетании с основным применением азотных удобрений [13]. Максимальная урожайность яровой пшеницы получена учеными Омского аграрного университета при совместном припосевном внесении и азотной подкормке в течение вегетации в суммарной дозе 60 кг/га [12]. В исследованиях ученых Са-

марского государственного аграрного университета установлена более высокая эффективность жидких минеральных удобрений в сравнении с твердыми при их дробном внесении перед посевом и по вегетации, что увеличивало урожайность твердой пшеницы на 30 % [14]. В лабораторных условиях В.Е. Вертебным и соавторами доказано положительное действие жидкого азотного удобрения (ПЛАВ) на развитие растений на ранних стадиях роста [15].

Известно, что недостаток азота, как правило, ограничивает использование фосфора и, соответственно, снижает эффективность фосфорных удобрений [16]. Оптимальное соотношение между азотом и фосфором улучшает усвоение и реутилизацию фосфора растениями. Кроме того, под влиянием аммиака и нитратов возрастает подвижность и доступность фосфатов почвы и из удобрений [17]. Зачастую низкое содержание фосфора и нарушение баланса основных элементов в питании растительного организма приводит не только к существенному недобору урожая, но и к ухудшению его качества [17].

Цель исследования — установить эффективность дробного внесения азотных удобрений в зависимости от уровня обеспеченности лугово-черноземной почвы подвижным фосфором на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Омского Прииртышья.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2020–2021 гг. в длительном стационарном опыте лаборатории агрохимии ФГБНУ «Омский АНЦ» в зернопаровом севообороте с выводным полем люцерны (пар чистый — озимая пшеница — яровая пшеница — яровая пшеница — овес). Предшественник яровой мягкой пшеницы — озимая пшеница. Почва опытного полигона — лугово-черноземная среднемошная тяжелосуглинистая со средним содержанием гумуса (6,7 % по Тюрину), нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 6,75...6,82). Содержание нитратного азота в почве перед посевом яровой мягкой пшеницы независимо от фона было низким — 6,6...7,7 мг/кг почвы, к уборке культуры на фоне P_0 — 3,5, на фоне P_{30} — 6,9. Обеспеченность подвижным фосфором (по Чирикову) на фоне без удобрений была повышенной — 111, на удобренном фоне высокой — 189, к уборке культуры — 117 и 163 мг/кг соответственно. Содержание обменного калия в почве (по Чирикову) не зависимо от фона было очень высоким (211...290 мг/кг).

Объект исследования — яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Мелодия, созданного в ФГБНУ Омский аграрный научный центр (Омская 19 (Ae. *Cylindrica*) × Лютесценс 6747) и характеризующегося средней урожайностью 25,1 ц/га с массой 1000 зерен до 38,0 г. Сорт среднеспелый устойчив к осыпанию и полеганию, засухе и поражению пыльной головней. По мукомольно-хлебопекарным качествам сорт отвечает требованиям, предъявляемым к ценной пшенице [18].

Опыт трехфакторный (2×4×2). Фактор А — фосфорный фон: 1) без применения удобрений (P_0); 2) внесение P_{30} кг д.в./га (P_{30}); фактор В — основное внесение аммиачной селитры: 1) 0 (контроль); 2) N_{30} ; 3) N_{45} ; 4) N_{60} ; фактор С — некорневая

подкормка (НП) раствором азотного удобрения (ПЛАВ) в дозе N_{30} : 1) НП в фазу колошения (НП₁); 2) НП в фазу колошения и в фазу молочной спелости (НП₂). Расход рабочего раствора 200 л/га. ПЛАВ — раствор 22 кг аммиачной селитры и 45 кг карбамида в физическом весе, разведенные в 200 л воды. Азот в ПЛАВе представлен в трех формах: аммиачной, нитратной и амидной.

Погодные условия в годы исследований характеризовались значительным недобором осадков и повышенными в сравнении с многолетними данными средне-суточными температурами. В 2020 г. в среднем за период вегетации пшеницы ГТК составил 0,60; в 2021 г. — 0,70, что свидетельствует о сложившихся засушливых условиях. Посев проводили с использованием сеялки СЗС-3,6 с нормой высева 5 млн всхожих семян на 1 га с последующим прикатыванием катками ЗККШ-6. Аммофос вносили локально до посева. По мере появления сорняков проводилась фоновая гербицидная обработка. Урожайность учитывали путем поделяночного обмолота с пересчетом на стандартную влажность 14 %.

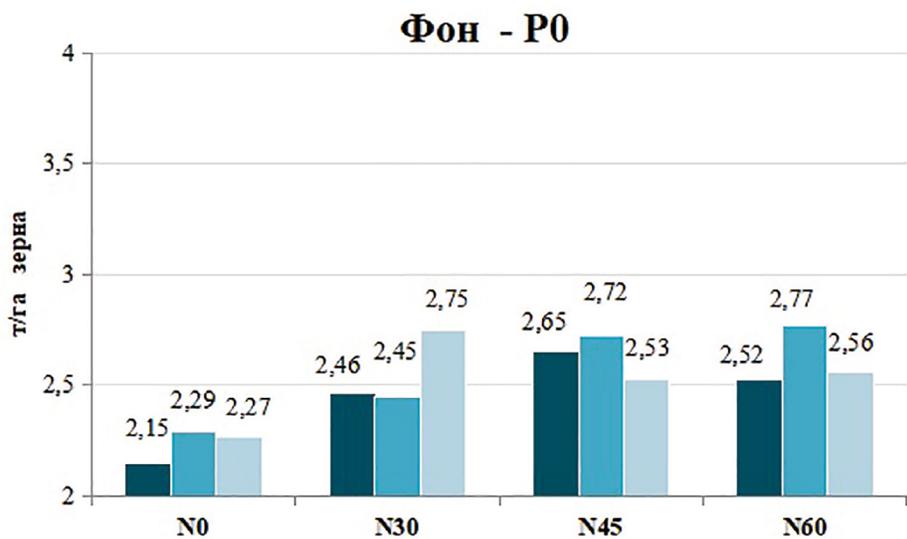
Определение содержания основных элементов минерального питания в почве, а также основных показателей качества зерна, структурный анализ урожая проводили по общепринятым методикам.

Статистическая обработка данных проведена методами математической статистики с помощью программного обеспечения Excel и Statist.

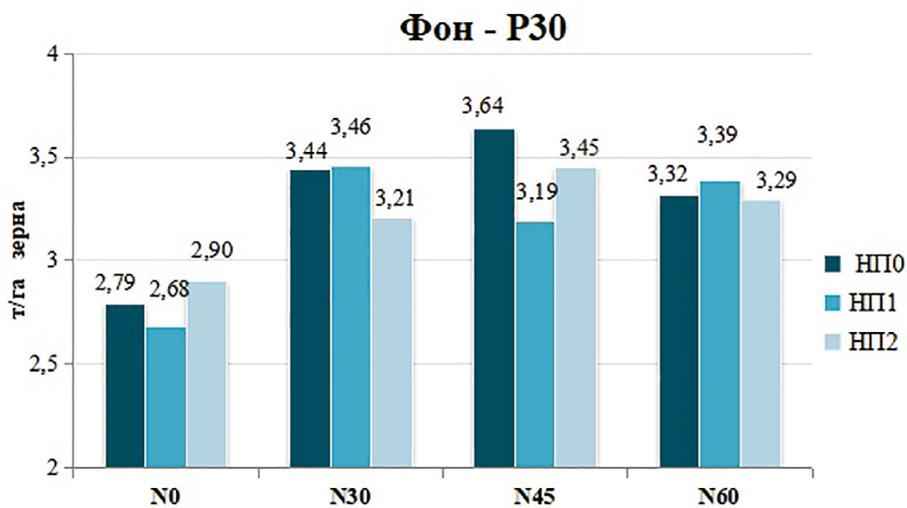
Результаты исследования и обсуждение

Оценка эффективности дробного внесения удобрений совпала с неблагоприятными погодными условиями (почвенная и воздушная засуха) в вегетационный период яровой пшеницы. В наших исследованиях урожайность пшеницы изменялась в широком диапазоне от 1,99 до 4,13 т/га зерна в зависимости от изучаемых факторов. В варианте без удобрений (контроль) урожайность пшеницы в среднем за годы эксперимента составила 2,15 т/га зерна (рис. 1).

Анализ урожайных данных показал, что преимущество дробного применения азотных удобрений в годы исследований не установлено — в варианте внесения N_{30} в виде подкормки урожайность составила 2,29 т/га, в то время как основное внесение N_{30} позволило получить 2,46 т/га зерна, дробное внесение N_{60} по вегетации также не обеспечило существенного увеличения урожайности (2,27 т/га). При этом применение той же дозы N_{60} в основное внесение, обеспечило уже 2,52 т/га зерна. Учитывая рекомендации по разработке системы удобрений на черноземных почвах [5], использование фосфорного удобрения в дозе P_{30} обеспечило прибавку 0,64 т/га зерна в сравнении с неудобренным фоном. На фоне основного внесения азотных удобрений $N_{30-60}P_{30}$ в среднем получена прибавка 0,92 т/га зерна. Максимальные прибавки в опыте получены на фоне P_{30} при основном внесении азотных удобрений в вариантах N_{30} и N_{45} — 1,29...1,49 т/га зерна соответственно. На данном фоне преимущества дробного применения азотных удобрений также не установлено. Так, в варианте $N_{30}P_{30} + НП_1$ получено 3,46 т/га, а при проведении двукратной подкормки НП₂ урожайность культуры не увеличивалась (3,21 т/га).



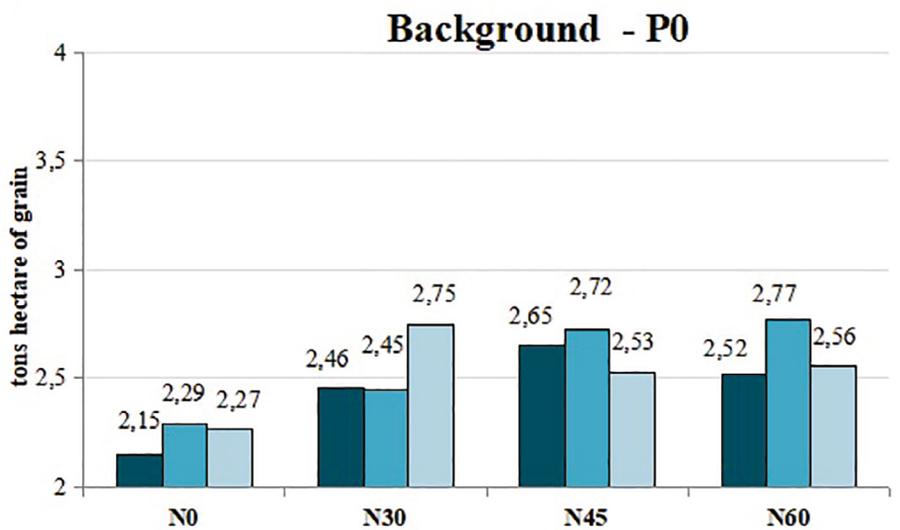
а



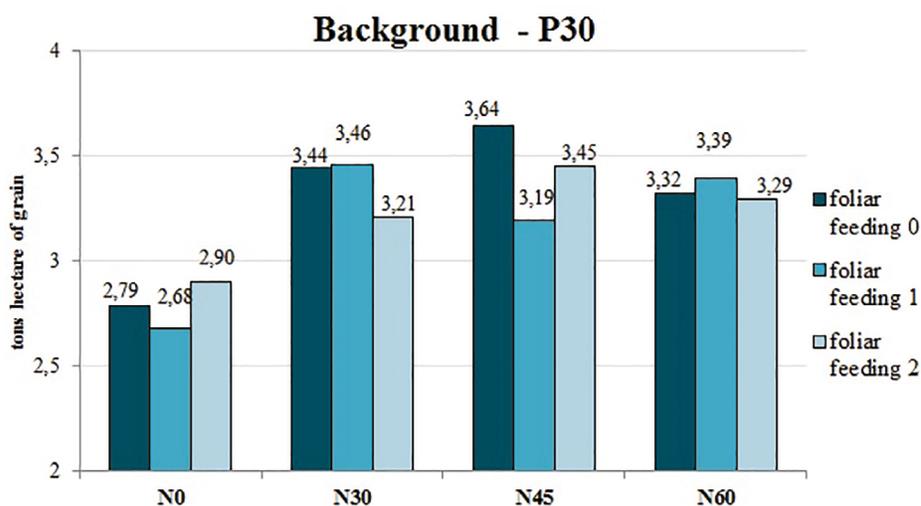
б

Рис. 1. Влияние внесения удобрений на урожайность яровой пшеницы в зависимости от фосфорного фона: а – фон P₀; б – фон P₃₀ (НСР₀₅ А – 0,23; В – 0,33; С – Fф < Fт; ABC – 0,80)

Источник: сделано авторами



a



б

Fig. 1. The effect of fertilization on yield of spring wheat depending on the phosphorus background:
 a – Background P₀; б – Background P₃₀
 (LSD₀₅ A – 0.23; B – 0.33; C – Ff < Ft; ABC – 0.80)

Source: created by the authors

При внесении азотных удобрений в дозах $N_{30-45-60}$ на фоне P_0 в среднем по фактору прибавка составила 0,39 т/га зерна, а на фоне P_{30} — 0,68 т/га, то есть эффективность удобрений возросла на 74 %. Максимальная прибавка от основного внесения азотных удобрений получена в варианте N_{45} — 0,50 и 0,85 т/га зерна соответственно на фонах P_0 и P_{30} . Следует отметить, что при увеличении дозы свыше 45 кг д.в. /га наблюдалась тенденция снижения отзывчивости культуры на удобрения на обоих фонах (рис. 2).

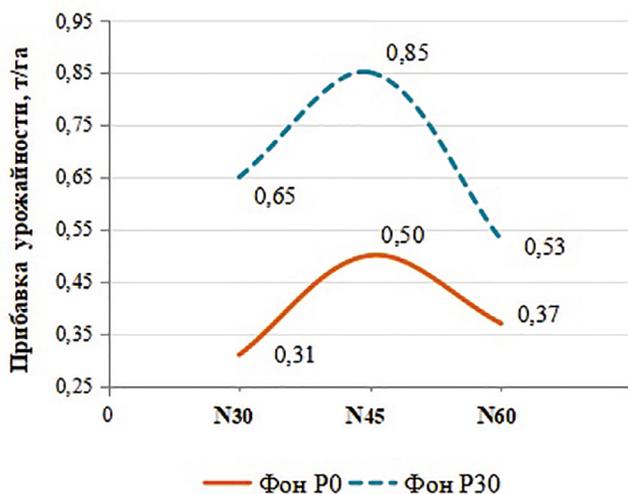


Рис. 2. Влияние основного внесения азотных удобрений на урожайность яровой пшеницы
Источник: сделано авторами

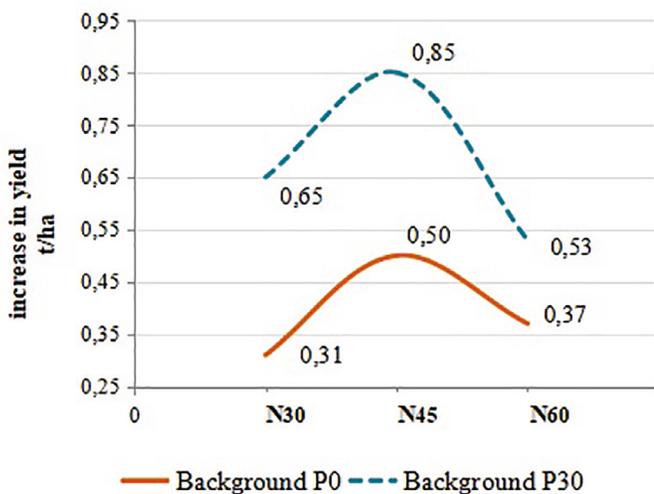


Fig. 2. Effect of the main application of nitrogen fertilizers on yield of spring wheat
Source: created by the authors

Статистическая обработка массива данных показала, что влияние фактора некорневых подкормок на урожайность пшеницы было несущественным ($F_{\phi} < F_{\tau}$). Наибольшая прибавка от некорневых подкормок получена только на неудобренном фоне в вариантах однократной подкормки $N_{60}+НП_1$ — 0,25 т/га и двукратной подкормки $N_{30}+НП_2$ — 0,29 т/га. Это не более 12 % в сравнении с вариантами без подкормки.

Таким образом, мы установили, что при возделывании яровой пшеницы по непаровому предшественнику наиболее результативно применение азотно-фосфорных удобрений в дозах $N_{30-45}P_{30}$. Эффективность поздних азотных подкормок в годы с недостаточным увлажнением в течение вегетационного периода (ГТК 0,6...0,7) несущественна.

Статистическая обработка данных по выявлению доли вклада влияния изучаемых факторов на формирование урожайности пшеницы приведена на рис. 3.

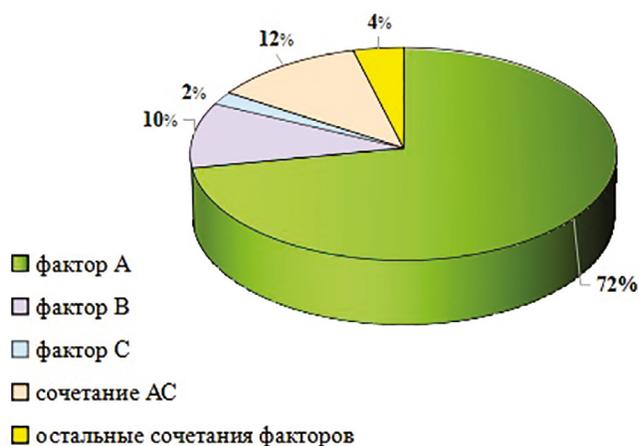


Рис. 3. Доля влияния изучаемых в опыте факторов на урожайность яровой пшеницы
 Источник: сделано авторами

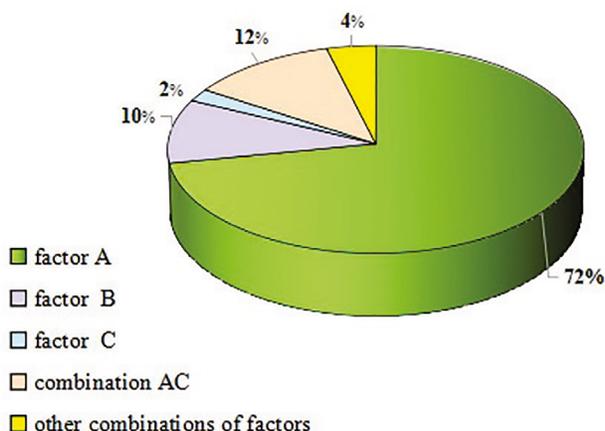


Fig. 3. The share of influence of the studied factors on yield of spring wheat
 Source: created by the authors

Фактор внесения фосфорных удобрений в опыте определил итоговую продуктивность культуры, влияние основного внесения азотных удобрений, а также сочетание факторов внесения фосфорных удобрений и применения подкормок было равнозначным: 10...12 %. Вклад фактора подкормок, а также различные сочетания других факторов были незначительны: 2...4 %.

Структурный анализ урожая — очень важная часть исследовательской работы [19], позволяющий выявить наиболее модификационные элементы структуры урожая в зависимости от изучаемых факторов: масса тысячи семян, продуктивная кустистость, длина колоса. Установлено, что в вариантах максимальной урожайности N_{30} и N_{45} на фоне P_{30} связь массы тысячи семян с продуктивностью культуры была средняя ($r = 0,40; 0,42$). В то же время, в вариантах N_{30} и $НП_2$ на фоне P_0 отмечена сильная степень взаимосвязи этого показателя с урожайностью ($r = 0,86; 0,95$). При установлении зависимости урожайности от продуктивной кустистости в вариантах N_{45} и $НП_1$ на фоне P_0 получены коэффициенты корреляции 0,62 и 0,70. На фоне P_{30} в варианте N_{30} связь между ними была сильная ($r = 0,83$). Применение азотных подкормок несущественно изменяло длину колоса в варианте $НП_1$ на фоне P_0 ($r = 0,49$).

Результатами многочисленных исследований подтверждено, что существенным фактором увеличения качества зерна пшеницы является применение на поздних стадиях онтогенеза азотных удобрений [20, 21]. Важнейший показатель оценки качества зерна, его технологической и пищевой ценности — содержание белка в зерне. В нашем опыте за годы исследований оно изменялось от 15,8 до 17,4 %. При этом было установлено, что долевое участие изучаемых факторов в синтезе белка распределялось таким образом: фактор А — 2 %, В — 64 %, С — 18 % и АВС — 16 %. Корреляционный анализ зависимости содержания белка от внесенных доз удобрений описывается уравнением прямой зависимости $y = 0,009x + 16,09$ ($r = 0,64$). Этот расчет подтверждает значимость азотных удобрений в изменении белковости зерна. Нами выявлено, что действие азотных удобрений в возрастающих дозах на содержание белка проявлялось только на фоне P_0 (табл. 1).

Таблица 1

Показатели качества зерна яровой пшеницы

Фактор	Вариант	Содержание белка, %	Натура зерна, г/л	Стекловидность, %	Содержание клейковины, %
Фактор В	N_0	15,9*/16,2**	732/737	53/53	32/31
	N_{30}	16,8/16,4	731/739	53/53	32/31
	N_{45}	17,0/16,7	729/732	54/55	34/34
	N_{60}	16,7/16,7	736/736	54/55	33/34
Фактор С	$НП_0$	16,4/16,4	735/734	53/54	32/33
	$НП_1$	16,5/16,6	731/734	54/54	32/33
	$НП_2$	16,9/16,7	730/741	54/54	35/33
Среднее по факт. А	P_0	16,6	732	54	33
	P_{30}	16,6	736	54	33
$НСР_{05} A$ В С	$F\phi < F\tau$ 0,5 $F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$	$F\phi < F\tau$

Примечание. * — по фону P_0 ; ** — по фону P_{30} .

Spring wheat grain quality indicators

Factor	Variant	Protein content, %	Grain size, g/l	Glassiness, %	Gluten content, %
Factor B	N ₀	15.9*/16.2**	732/737	53/53	32/31
	N ₃₀	16.8/16.4	731/739	53/53	32/31
	N ₄₅	17.0/16.7	729/732	54/55	34/34
	N ₆₀	16.7/16.7	736/736	54/55	33/34
Factor C	Foliar feeding 0	16.4/16.4	735/734	53/54	32/33
	Foliar feeding 1	16.5/16.6	731/734	54/54	32/33
	Foliar feeding 2	16.9/16.7	730/741	54/54	35/33
Average by factor A	P ₀	16.6	732	54	33
	P ₃₀	16.6	736	54	33
LSD ₀₅ A B C	Ff < Ft 0,5 Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft

Note: * – by background P₀; ** – by background P₃₀.

В среднем по фактору В содержание белка возросло на 0,8...1,1 % абсолютной величины. Максимальный прирост белка в зерне пшеницы наблюдался в варианте N₄₅ на фоне P₀. Концентрация белка в зерне в вариантах дробного внесения азотных удобрений на фоне P₃₀ изменялась в пределах наименьшей существенной разницы.

Важнейшим показателем качества зерна пшеницы является содержание клейковины, которое предопределяет хлебопекарное достоинство зерна и полученной из него муки. Только при количестве клейковины в зерне не менее 25 % можно получить хлебопекарную муку стандартного качества. В нашем опыте получено зерно с показателями натуре 729...741 г/л, стекловидности 53...55 %, содержания клейковины 31...35 % независимо от вариантов опыта.

В качестве итогового анализа мы сделали расчет агрономической окупаемости 1 кг д.в. внесенных удобрений полученными прибавками урожайности и сбора белка (табл. 2).

Таблица 2

Агрономическая окупаемость, кг/кг

Вариант	НП ₀	НП ₁	НП ₂
Фон P ₀			
N ₀	0/0	4,7/0,8	2,0/0,4
N ₃₀	10,3/2,4	5,0/1,1	6,7/1,5
N ₄₅	11,1/2,4	7,6/1,6	3,6/1,0
N ₆₀	6,2/1,3	6,9/1,4	3,4/1,0
Фон P ₃₀			
N ₀	21,3/3,7	8,8/1,6	8,3/1,4
N ₃₀	21,5/7,5	14,6/2,6	8,8/1,6
N ₄₅	19,9/6,1	9,9/1,9	9,6/1,9
N ₆₀	13,0/3,4	10,3/1,9	7,6/1,5

Примечание. Окупаемость 1 кг д.в. прибавкой: * – урожая; ** – белка.

Agronomic payback, kg/kg

Variant	Foliar feeding 0	Foliar feeding 1	Foliar feeding 2
Background P ₀			
N ₀	0/0	4.7/0.8	2.0/0.4
N ₃₀	10.3/2.4	5.0/1.1	6.7/1.5
N ₄₅	11.1/2.4	7.6/1.6	3.6/1.0
N ₆₀	6.2/1.3	6.9/1.4	3.4/1.0
Background P ₃₀			
N ₀	21.3/3.7	8.8/1.6	8.3/1.4
N ₃₀	21.5/7.5	14.6/2.6	8.8/1.6
N ₄₅	19.9/6.1	9.9/1.9	9.6/1.9
N ₆₀	13.0/3.4	10.3/1.9	7.6/1.5

Note: payback of 1 kg of the active substance by adding: *— crop; **— protein.

Установлено, что на неудобренном фоне наибольшая окупаемость удобрений была в вариантах основного внесения азотного удобрения в дозах N₃₀ и N₄₅. Максимальная окупаемость получена при основном внесении азотных удобрений на фоне P₃₀: в вариантах N₃₀ и N₄₅ окупаемость составила 21,5 и 19,9 кг зерна с гектара; 7,5 и 6,1 кг белка с гектара соответственно.

Заключение

Таким образом, было установлено, что эффективность минеральных удобрений в условиях рискованного земледелия в большей степени зависит от погодных условий, складывающихся в течение вегетационного периода. Эффективность дробного внесения азотных удобрений в годы эксперимента при ГТК 0,6...0,7 не установлена, она не зависела от кратности обработок и не обеспечила существенных прибавок в урожайности и улучшения качества зерна. Максимальная прибавка урожайности получена в вариантах основного внесения N₃₀₋₄₅P₃₀ — 0,98...1,18 т/га зерна (40...48 %) за счет увеличения массы тысячи зерен ($r = 0,40...0,42$), продуктивной кустистости ($r = 0,83$). Агрономическая окупаемость одного кг д.в./га внесенных удобрений в этих вариантах составила 21,5 и 19,9 кг зерна с гектара; 7,5 и 6,1 кг белка с гектара.

Список литературы

1. Юшкевич Л.В., Пахотина И.В., Щитов А.Г. Эффективность использования агротехнологических приемов возделывания мягкой яровой пшеницы в повышении продуктивности и качества зерна в Омской области // Вестник КрасГАУ. 2021. № 7(172). С. 26–34. doi: 10.36718/1819-4036-2021-7-26-34
2. Измалова Д.С., Изотов А.М. Влияние азотных удобрений и органоминеральных препаратов на урожайность и качество зерна твердой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 113–123. doi: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-113-123

3. Балабанова Н.Ф., Воронкова Н.А., Дороненко В.Д., Волкова В.А., Цыганова Н.А. Содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве при длительном применении минеральных удобрений // *Земледелие*. 2020. № 2. С. 7–9. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10202
4. Хаирова Н.И., Ваулина Г.И., Гурина Р.Р. Экономическая оценка эффективности совместного применения азотных удобрений и химических средств защиты растений в посевах пивоваренного ячменя // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Агрономия и животноводство. 2015. № 4. С. 52–56.
5. Храпцов И.Ф., Бойко В.С., Юшкевич Л.В. и др. Система адаптивного земледелия Омской области. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е.А., 2020. 522 с.
6. Бойко В.С., Тимохин А.Ю., Якименко В.Н. Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 1. С. 29–33. doi: 10.31857/S2500262721010075
7. Красницкий В.М., Бобренко И.А., Шмидт А.Г., Матвейчик О.А. Агротехническая диагностика потребности полевых культур в азотных удобрениях // *Плодородие*. 2020. № 6 (117). С. 40–44. doi: 10.25680/819948603.2020.117.12
8. Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Малкандуева А.Х. Потребление основных элементов питания сортами озимой пшеницы // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2022. № 2 (106). С. 107–117. doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117
9. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: Рос. акад. с.-х. наук, Сиб. отд-ние, Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2013. 789 с.
10. Гамзиков Г.П. Прогноз обеспеченности почв азотом и потребности полевых культур в азотных удобрениях // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2015. № 3(9). С. 11–20.
11. Галева Л.П. Азотный режим черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при внесении минеральных удобрений в зерновом севообороте // *Вестник НГАУ*. 2020. № 3(56). С. 18–28. doi: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-18-28
12. Гоман Н.В., Бобренко И.А., Попова В.И., Болдышева Е.П., Кормин В.П. Влияние различных способов и форм применения азотных удобрений на урожайность зерновых культур // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2022. № 3(47). С. 15–23. doi: 10.48136/2222-0364_2022_3_15
13. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Иванова Е.В., Пироженко В.В. Эффективность использования карбамидно-аммиачного удобрения (КАС-32) на яровой пшенице в Курской области // *Плодородие*. 2019. № 4. С. 8–11. doi: 10.25680/819948603.2019.109.03
14. Милюткин В.А., Сысоев В.Н., Макушин А.Н., Длужевский Н.Г. Комплексное обеспечение инновационных технологий производства сельскохозяйственных культур с применением жидких азотных удобрений КАС // *Вестник ИрГСХА*. 2022. № 1(108). С. 19–31.
15. Вертебный В.Е., Гурова Т.А., Дубовицкая В.И., Конончук П.Ю. Изменение состояния яровой пшеницы при применении некорневых азотных подкормок и обработки стимуляторами роста // *Экология и Строительство*. 2019. № 4. С. 53–61. doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-006
16. Кореньков Д.А., Синягин И.И., Петербургский А.В., Авдонин Н.С. Удобрения, их свойства и способы использования. М.: Колос, 1982. 415 с.
17. Воронкова Н.А. Влияние длительного применения удобрений в севообороте на фосфатный режим черноземов выщелоченных Западной Сибири // *Агрохимия*. 2010. № 12. С. 10–17.
18. Сорта сельскохозяйственных культур селекции ФГБНУ «Омский АНЦ». Омск: Изд-во ИП Макшеевой, 2022. 148 с.
19. Цыганова Н.А., Воронкова Н.А., Волкова В.А., Балабанова Н.Ф. Влияние органических кислот на формирование урожая яровой мягкой пшеницы в условиях лесостепи Западной Сибири // *Инновационные технологии в земледелии и растениеводстве: сб. науч. статей, посвящ. 70-летию д-ра с.-х. наук Л.В. Юшкевича*. Омск, 2022. С. 87–93.
20. Булавин Л.А., Гвоздов А.П., Долгова Е.Л., Белановская М.А., Гедрович С.В., Ханкевич В.А., Кранцевич В.Д. Влияние сроков применения азотных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы // *Сельское хозяйство — проблемы и перспективы: сб. науч. трудов / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. Гродно: ГГАУ, 2017. Т. 38: Агрономия*. С. 32–38.
21. Лапушкин В.М. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // *Плодородие*. 2019. № 3. С. 19–21. doi: 10.25680/819948603.2019.108.06

References

1. Yushkevich LV, Pakhotina IV, Shchitov AG. Agrotechnological methods of soft spring wheat cultivation use efficiency to increase productivity and grain quality in the Omsk region. *Bulletin of KSAU*. 2021;(7):26–34. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2021-7-26-34
2. Izmailova DS, Izotov AM. Influence of nitrogen fertilizers and organic mineral preparations on the yield and grain quality of winter durum wheat. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2021;(1):113–123. (In Russ.). doi: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-113-123
3. Balabanova NF, Voronkova NA, Doronenko VD, Volkova VA, Tsyganova NA. Content of labile organic matter in meadow-chernozem soil at prolonged application of fertilizers. *Zemledelie*. 2020;(2):7–9. (In Russ.). doi: 10.24411/0044-3913-2020-10202
4. Hairova NI, Vaulina GI, Gurina RR. Economic evaluation of combined application of nitrogen fertilizers and crop protection chemicals in crop malting barley. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2015;(4):52–56. (In Russ.).
5. Khrantsov IF, Boyko VS, Yushkevich LV, Voronkova NA, Timokhin AY, Balabanova NF, et al. *Sistema adaptivnogo zemledeliya Omskoi oblasti* [The system of adaptive agriculture of the Omsk region]. Omsk; 2020. (In Russ.).
6. Boiko VS, Timokhin AY, Yakimenko VN. Change in the phosphate state of soils of the forest steppe of Western Siberia at the systematic application of fertilizers. *Rossiiskaia Selskokhoziaistvennaia Nauka*. 2021;(1):29–33. (In Russ.). doi: 10.31857/S2500262721010075
7. Krasnitsky VM, Bobrenko IA, Schmidt AG, Matveychik OA. Agrotechnical diagnostics of the need of field crops in nitrogen fertilizers. *Plodorodie*. 2020;(6):40–44. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2020.117.12
8. Malkanduev KA, Shamurzaev RI, Malkandueva AK. Consumption of basic nutrients by winter wheat varieties. *Izvestiya Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022;(2):107–117. (In Russ.). doi: 10.35330/1991-6639-2022-2-106-107-117
9. Gamzikov GP. *Agrokhimiya azota v agrotsenozakh* [Agrochemistry of nitrogen in agrocenoses]. Novosibirsk; 2013. (In Russ.).
10. Gamzikov GP. The forecast of the soils and nitrogen requirements of field crops in the nitrogen fertilizer. *Innovations and food safety*. 2015;(3):11–20. (In Russ.).
11. Galeeva LP. Nitrogen regime of leached chernozems of the Novosibirsk Ob region when applying mineral fertilizers in the grain crop rotation. *Bulletin of NSAU*. 2020;(3):18–28. (In Russ.). doi: 10.31677/2072-6724-2020-56-3-18-28
12. Goman NV, Bobrenko IA, Popova VI, Boldysheva EP, Kormin VP. The influence of various methods and forms of application of nitrogen fertilizers on the yield of grain crops. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022;(3):15–23. (In Russ.). doi: 10.48136/2222-0364_2022_3_15
13. Lazarev VI, Lazareva RI, Ivanova EV, Pirozhenko VV. The efficiency of urea-ammonia (CAS-32) fertilizer on spring wheat under the conditions of chernozem in Kursk region. *Plodorodie*. 2019;(4):8–11. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2019.109.03
14. Milyutkin VA, Sysyoev VN, Makushin AN, Druzhevsky NG. Integrated provision of innovative technologies for the production of agricultural crops using liquid nitrogen fertilizers CAM. *Vestnik IrGSHA*. 2022;(1):19–31. (In Russ.). doi: 10.51215/1999-3765-2022-108-19-31
15. Vertebnyi VE, Gurova TA, Dubovitskaia VI, Kononchuk PY. Changes in spring wheat characteristics under effect of foliar nitrogen fertilization and growth stimulants. *Ecology and Construction*. 2019;(4):53–61. (In Russ.). doi: 10.35688/2413-8452-2019-04-006
16. Korenkov DA, Sinyagin II, Peterburgskiy AV, Avdonin NS. *Udobreniya, ikh svoystva i sposoby ispol'zovaniya* [Fertilizers, their properties and methods of use]. Moscow: Kolos publ.; 1982. (In Russ.).
17. Voronkova NA. Effect of the long-term application of mineral and organic fertilizers to crop rotation on the phosphate status of leached chernozems in Western Siberia. *Agrokhimiya*. 2010;(12):10–17. (In Russ.).
18. Chekusova MS. (ed.) *Sorta sel'skokhoziaistvennykh kul'tur seleksii FGBNU «Omskii ANTs»* [Varieties of agricultural crops of the selection of «FGBNU Omsk ANC»]. Omsk; 2022. (In Russ.).
19. Tsyganova NA, Voronkova NA, Volkova VA, Balabanova NF. The influence of organic acids on the formation of the spring soft wheat crop in the conditions of the forest-steppe of Western Siberia. In: *Innovative technologies in agriculture and crop production: conference proceedings*. Omsk; 2022. p.87–93. (In Russ.).
20. Bulavin LA, Gvozдов AP, Dolgova EL, Belanovskaya MA, Gedrovich SV, Khankevich VA, Krantsevich VD. Effect of nitrogen fertilizers on yield and quality of spring wheat grain. In: *Agriculture — problems and prospects: conference proceedings. Vol. 38: Agronomy*. Grodno; 2017. p.32–38. (In Russ.).

21. Lapushkin VM, Nesterenko VA. The formation of yield and grain quality of spring wheat depending on doses of nitrogen fertilizers and supply of soil phosphorus. *Plodородie*. 2019;(3):19–21. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2019.108.06

Об авторах:

Воронкова Наталья Артемовна — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: voronkova.67@bk.ru

ORCID: 0000-0003-4797-9765 SPIN: 7745–7881

Цыганова Надежда Александровна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: duxa21@mail.ru

ORCID: 0009-0005-6365-7303 SPIN: 5142–3159

Балабанова Наталья Федоровна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1445-2203 SPIN: 1213–6542

Волкова Виктория Андреевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: volkovava1989@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3798-1116 SPIN: 7243–4843

Пахотина Ирина Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: ira.pakhotina.72@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9709-1951 SPIN: 4557–8357

About authors:

Voronkova Natalia Artemovna — Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: voronkova.67@bk.ru

ORCID 0000–0003–4797–9765 SPIN: 7745–7881

Tsyganova Nadezhda Aleksandrovna — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: duxa21@mail.ru

ORCID 0009–0005–6365–7303 SPIN: 5142–3159

Balabanova Natalia Fedorovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agrarian Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: natascha.balabanowa@mail.ru

ORCID 0000–0003–1445–2203 SPIN: 1213–6542

Volkova Victoria Andreevna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Agrochemistry, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: volkovava1989@yandex.ru

ORCID 0000–0003–3798–1116 SPIN: 7243–4843

Pakhotina Irina Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Grain Quality, Omsk Agricultural Research Center, 26 Korolev ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: ira.pakhotina.72@mail.ru

ORCID 0000–0002–9709–1951 SPIN: 4557–8357



Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-76-89

EDN: AUYYJZ

УДК 633.13:631.52

Научная статья / Research article

Оценка стабильности и пластичности голозерных форм овса ярового по урожайности и массе 1000 зерен в условиях Северного региона

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

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,
г. Архангельск, Российская Федерация
 19651960@mail.ru

Аннотация. Овес яровой в экстремальных условиях Севера — одна из главных однолетних кормовых культур, поэтому оценка исходного материала на адаптивность и стабильность является основой при создании новых конкурентоспособных сортов. Цель исследований — выявить наиболее пластичные сортообразцы голозерных форм овса ярового с наибольшей стабильностью по урожайности зерна и массе 1000 зерен в условиях Северного региона. Исследования проведены в южной зоне Архангельской области в 2020–2022 гг. На опытном поле изучали 7 голозерных сортообразцов овса ярового селекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»». В качестве стандарта использовали сорт Немчиновский 61. Рассчитаны параметры экологической пластичности и стабильности: урожайность в контрастные годы $(Y_1 + Y_2)/2$; индекс экологической пластичности (ИЭП); стрессоустойчивость $(Y_2 - Y_1)$; коэффициент линейной регрессии b_i ; коэффициент вариации V ; индекс стабильности L' ; мера стабильности S^2d ; размах урожайности d ; показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС). По полученным данным проведена оценка сортообразцов и сделаны соответствующие выводы о пластичности и стабильности голозерного овса по урожайности зерна и массе 1000 зерен. Выделены сортообразцы пластичные и стабильные по урожайности зерна: 52h2467 ($b_i = 1,04$, ИЭП = 1,91, $L' = 116,99$, ПУСС = 14,644), Н 2895 ($L' = 102,25$, ПУСС = 11,188), Н 2979 ($L' = 103,12$, ПУСС = 12,044); по массе 1000 зерен Н 2895 (ПУСС = 1524,711; ИЭП = 1,145; $V = 1,051$; $L' = 139,999$). Образец Н 2895 сочетал высокие признаки как по массе 1000 зерен, так и по урожайности.

© Зобнина И.В., Корелина В.А., Батакова О.Б., 2024



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

Ключевые слова: сортообразец, индекс условий среды, экологическая пластичность, стрессоустойчивость, коэффициент вариации, мера стабильности

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

История статьи: поступила в редакцию: 7 апреля 2023 г., принята к публикации: 29 декабря 2023 г.

Для цитирования: *Зобнина И.В., Корелина В.А., Батакова О.Б.* Оценка стабильности и пластичности голозерных форм овса ярового по урожайности и массе 1000 зерен в условиях Северного региона // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 76–89. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-76-89

Assessment of stability and plasticity of hulless spring oat varieties by yield and 1000 seed weight in the Northern Russia

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

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, *Arkhangelsk, Russian Federation*
 19651960@mail.ru

Abstract. Spring oats in extreme conditions of the Russian North is one of the main annual fodder crops. Therefore, assessment of the source material for adaptability and stability is the basis for creation of new competitive varieties. The purpose of the research was to identify the most plastic varieties of hulless spring oat with the greatest stability in grain yield and 1000 seed weight in the conditions of the Northern region. The experiments were carried out in the southern zone of the Arkhangelsk region in 2020–2022. Seven hulless spring oat varieties developed by Nemchinovka Federal Research Center were studied in the experimental field. Nemchinovsky 61 variety was used as a standard. To evaluate samples by productivity and 1000 seed weight, the parameters of ecological plasticity and stability were calculated: yield in contrasting years $(Y1 + Y2)/2$; index of ecological plasticity (IEP); stress resistance $(Y2 - Y1)$; linear regression coefficient (b_i); coefficient of variation (V); stability index (L'); measure of stability (S^2d); swing yield (d); indicator of variety stability level (IVSL). According to the data obtained, the varieties were evaluated, and appropriate conclusions were made about the plasticity and stability of hulless oats in terms of grain yield and 1000 seed weight. The average yield of hulless oat varieties over the research years was 2.20 t/ha, 1000 seed weight was 31.57 g. In favorable 2022, grain yield was the highest (3.45...3.90 t/ha), the index of environmental conditions was positive ($I_j = 5.49$), in unfavorable 2020–2021, grain yield was 1.18...2.11 t/ha and I_j was negative $-2.13, -3.36$. Regarding 1000 seed weight (31.8...35.0 g), the most favorable was 2020, the index of environmental conditions was positive ($I_j = 1.95$). In unfavorable 2021–2022, 1000 seed weight was 27.7...36.3 g and I_j was negative $-1.71, -0.24$. The following cultivars were pliable and stable in grain yield: 52h2467 ($b_i = 1.04$, IEP = 1.91, $L' = 116.99$, IVSL = 14.644), H 2895 ($L' = 102.25$, IVSL = 11.188), H 2979 ($L' = 103.12$, IVSL = 12.044); and in 1000 seed weight: H 2895 (IVSL = 1524.711; IEP = 1.145; $V = 1.051$; ($L' = 139.999$). The variety H 2895 combined high characteristics both in 1000 seed weight and in yield.

Keywords: variety, index of environmental conditions, ecological plasticity, stress resistance, coefficient of variation, stability measure

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Article history: Received: 7 April 2023. Accepted: 29 December 2023.

For citation: Zobnina IV, Korelina VA, Batakova OB. Assessment of stability and plasticity of hullless spring oat varieties by yield and 1000 seed weight in the Northern Russia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):76–89. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-76-89

Введение

Овес яровой — широко распространенная зерновая культура на Европейском Севере РФ, но форма голозерного овса изучена крайне слабо. Многие исследователи также отмечают, что «овес — одна из наиболее важных зерновых культур, сочетающая продовольственное и кормовое направление производства зерновой продукции. Его широкое распространение определяет разнообразие экотипов и высокая адаптивность к условиям внешней среды» [1]. В основном в мире выращивают овес плёнчатый, в последние десятилетия возрастает интерес к голозерному овсу. О возрастающей роли голозерного овса как в мире, так и в России указывает ряд исследователей, так как «овес голозерный (*Avena sativa* subspecies *nudisativa*) вследствие отсутствия пленки более технологичен в переработке, превосходит пленчатый по питательной ценности, аминокислотному составу, содержанию белка, масла и крахмала в зерне» [2–5].

В РФ начало внедрения в Госреестр сортов овса голозерного относится к 2000 г., когда впервые был включен сорт Тюменский голозерный, на 2022 г. зарегистрировано 17 сортов. Для территории Северного региона нет районированных сортов овса голозерного. Исследования по селекционной работе с голозерными формами овса ярового в условиях Архангельской области проводятся с 2013 г.

Селекционеры практики всегда уделяли особое внимание вопросам создания адаптивных сортов [6], которые характеризуются стабильностью основных признаков урожайности и качества зерна, в т. ч. крупности. У более крупного зерна повышенная масса 1000 зерен, что является сортовым признаком, изменение которого зависит от условий выращивания. Сорта с крупным зерном отличаются большей устойчивостью к лимитирующим факторам среды и высоким выходом продукции. Масса 1000 зерен может быть критерием адаптивности, являясь признаком, характеризующим конечный результат взаимодействия сорта и среды в процессе формирования продуктивности [7, 8].

Цель исследований — выявить наиболее пластичные сортообразцы голозерных форм овса ярового с наибольшей стабильностью по урожайности зерна и массе 1000 зерен в условиях Северного региона.

Материал и методы исследования

Исследования проведены в питомниках конкурсного сортоиспытания овса ярового в 2020–2022 гг. на опытном поле ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (г. Котлас). Объектом исследований являлись 7 коллекционных образцов голозерного овса ярового. Почва опытного участка характеризовалась как высокоокультуренная,

дерново-слабоподзолистая, предшественник — однолетние культуры. Отбор почвенных образцов проводили по ГОСТу 28168–89. По механическому составу почва дерново-подзолистая суглинистая, с содержанием гумуса 2,1 %. Реакция почвенного раствора нейтральная (рН 6,5). Почва обеспечена фосфором 23,5 мг/г и калием 27,8 мг/г на 100 г почвы (по Кирсанову), содержание общего азота — 0,11 %. Мощность пахотного горизонта — 20–22 см. Агротехника опытного участка — общепринятая, как для яровых зерновых в регионе. Обработка почвы заключалась в зяблевой вспашке, предпосевной культивации в два следа. Весной, перед культивацией вносили удобрение азото-фосфорно-калийное (16:16:16) в дозе 2 ц/га. Площадь делянки — 10 м², повторность опыта — четырехкратная рендомизированным способом. Норма высева — 6,0 млн всхожих семян на гектар. Закладку опытов, фенологические наблюдения, полевые учеты и определение структуры урожая проводили по методике государственного сортоиспытания. Массу 1000 зерен определяли согласно ГОСТ 10842–89.

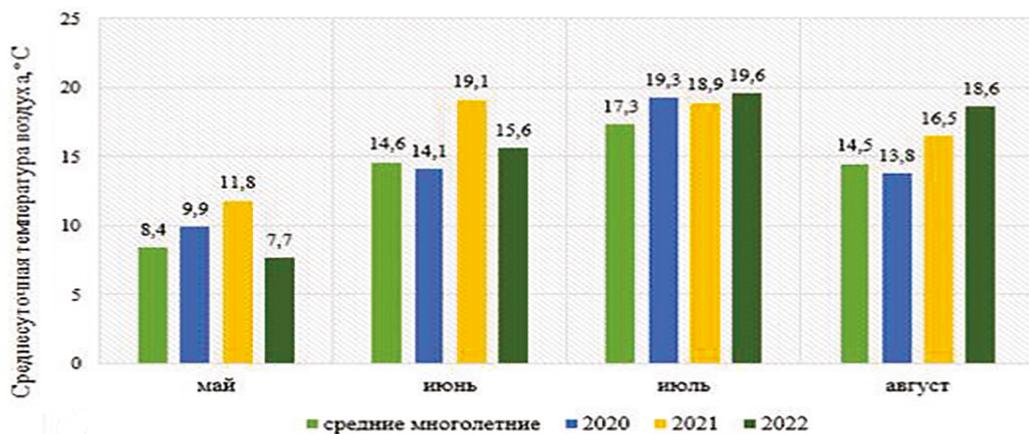
Статистическую обработку данных проводили по методике Б.А. Доспехова¹. Расчет коэффициента линейной регрессии b_i , меры стабильности s^2d , индекса условий среды I_j вели по методике S.A. Eberhard и W.A. Russell [9], устойчивость к стрессу и компенсаторскую способность определяли по методике А.А. Rossielle и J. Hamblin [10]. Индекс экологической пластичности (ИЭП) высчитывали по методике А.А. Грязнова [11], индекс стабильности L' рассчитывали по В.В. Хангильдина, Р.Р. Асфондиярова [12], комплексный показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) высчитывали согласно Э.Д. Неттевич [13]. Все расчеты выполнены с помощью компьютерной программы Excel из офисного пакета программ Microsoft Office методом введения в соответствующие ячейки формул, используемых для расчета данных параметров.

Метеорологические условия исследований (2020–2022 гг.) в период вегетации овса ярового различались по количеству осадков и температурному режиму, что повлияло на формирование урожайности, массу 1000 зерен и позволило более полно оценить показатели стабильности и пластичности, а также выделить лучшие сортообразцы голозерных форм овса (рис.). Гидротермический коэффициент изменялся за период изучения от 1,2 до 1,7. Сумма эффективных температур с мая по август в 2020 г. составила 1145 °С, в 2021 г. — 1457 °С и в 2022 г. — 1296 °С, при среднемноголетних данных 1067 °С. Среднесуточная температура воздуха в 2020–2022 гг. незначительно превышала или находилась на уровне среднемноголетних данных.

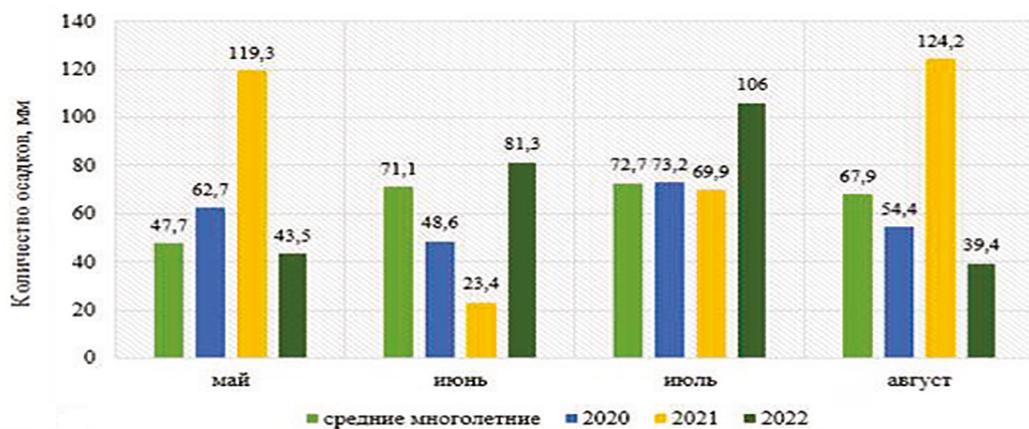
Вегетационный период 2020 г. в целом характеризовался благоприятными климатическими условиями, за исключением первой-второй декад июня, низкое количество осадков существенно повлияли на рост и развитие овса ярового в период кущение — выход в трубку (48 % от нормы). Вегетационный период 2021 г. характеризовался аномально высокой температурой воздуха и недостатком влаги в июне, первой и второй декадах июля в периоды

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

кущение — выход в трубку, выход в трубку — выметывание, что негативно сказалось на росте и развитии овса ярового и привело к снижению уровня урожайности. Благоприятный температурный режим 2022 г. совпал с обильным и неравномерным выпадением осадков, отмечалось избыточное переувлажнение почвы в третьей декаде мая, первой декаде июня и во второй декаде июля в результате ливневых осадков и высоких температур, переувлажнение имело краткосрочный период, что способствовало хорошему развитию растений и получению высоких урожаев.



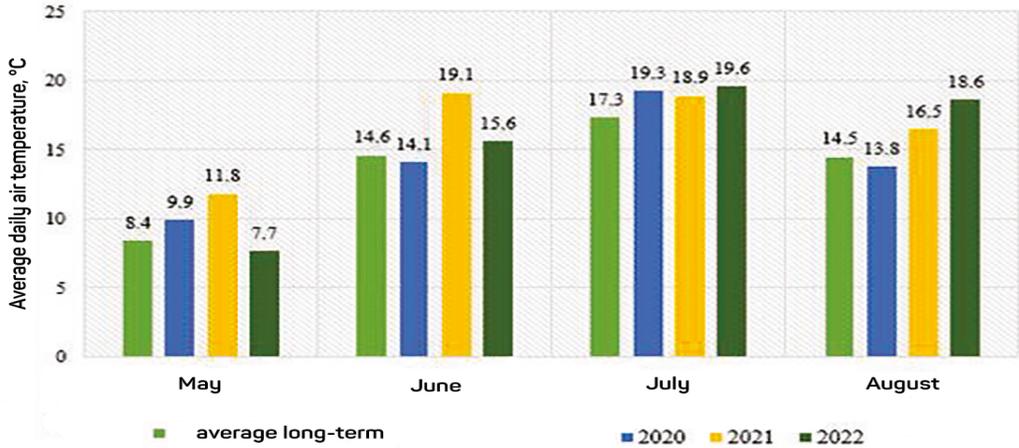
а



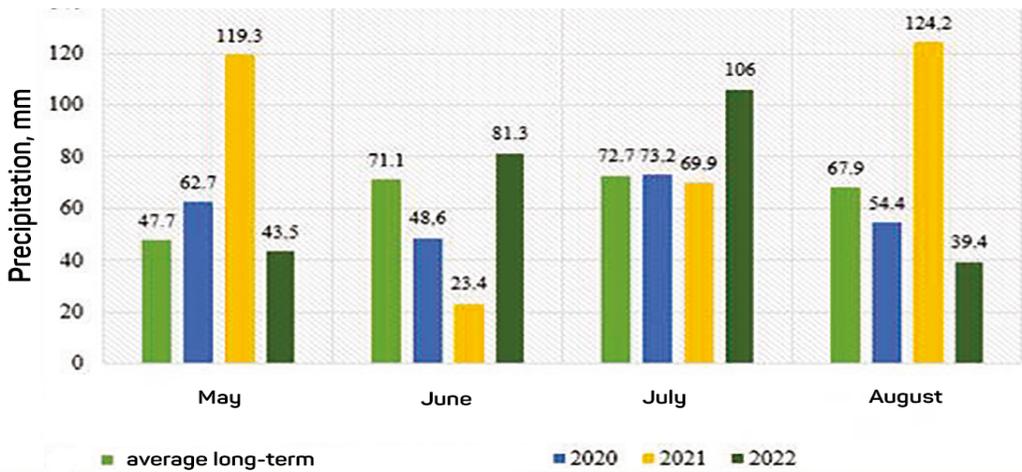
б

Метеоусловия в годы проведения исследований: а – среднесуточная температура воздуха, °С; б – количество осадков, мм

Источник: сделано авторами



a



b

Weather conditions during research years: a – average daily air temperature, °C; б – precipitation, mm

Source: created by authors

Результаты исследования и обсуждение

Совокупность индексов условий среды I_j характеризует изменчивость условий, в которых выращивали сортообразцы. I_j по годам был различным (табл. 1). У1 (максимальное значение I_j) и У2 (минимальное значение I_j) обозначают контрастные годы. По урожайности У1 соответствовал 2022 г. ($I_j = 5,49$), У2 — 2021 г. ($I_j = -3,36$) и 2020 г. ($I_j = -2,13$). По массе 1000 зерен сложилась обратная ситуация: У1 здесь соответствовал 2020 г. ($I_j = 1,95$), У2 — 2021 г. ($I_j = -1,71$) и 2022 г. ($I_j = -0,24$). Следовательно, контрастными по урожайности стали 2020 и 2021 гг., по массе 1000 зерен — 2021 и 2022 гг. Погодные условия 2020 и 2022 гг. в целом соответствовали требованиям биологии исследуемой культуры. Наиболее неблагоприятным по урожайности зерна и массе 1000 зерен характеризовался 2021 г.

Таблица 1

**Урожайность и масса 1000 зерен сортообразцов голозерного овса
ярового по годам исследования**

Сортообразец	Масса 1000 зерен, г				Генетическая гибкость (Y1+Y2)/2	Урожайность, т/га				Генетическая гибкость (Y1+Y2)/2
	2020	2021	2022	Средняя		2020	2021	2022	Средняя	
Немчиновский 61 (стандарт)	35,0	30,2	28,4	31,20	31,70	2,08	1,17	3,48	2,24	2,33
52h2467	32,2	28,2	28,5	29,63	30,20	2,11	1,47	3,90	2,49	2,69
Азиль	34,7	29,5	31,4	31,87	32,10	1,23	1,18	3,52	1,98	2,35
2h2348	33,2	27,7	30,6	30,50	30,45	1,28	1,18	3,74	2,07	2,46
Н 2895	35,6	36,3	36,2	36,03	35,95	1,58	1,50	3,46	2,18	2,48
Н 2892	31,8	28,5	31,1	30,47	30,15	1,43	1,38	3,45	2,09	2,42
Н 2979	32,1	28,6	33,1	31,27	30,85	1,78	1,45	3,75	2,33	2,60
Среднее	33,5	29,85	31,33	31,71	–	1,64	1,33	3,61	1,88	–
<i>lj</i>	1,95	-1,71	-0,24	–	–	-2,13	-3,36	5,49	–	–

Table 1

Yield and 1000 seed weight of hullless spring oat varieties

Variety	1000 seed weight, g				Genetic flexibility (Y1+Y2)/2	Yield, t/ha				Genetic flexibility (Y1+Y2)/2
	2020	2020	2022	Average		2020	2021	2022	Average	
Nemchinovsky 61 (standard)	35.0	30.2	28.4	31.20	31.70	2.08	1.17	3.48	2.24	2.33
52h2467	32.2	28.2	28.5	29.63	30.20	2.11	1.47	3.90	2.49	2.69
Azil	34.7	29.5	31.4	31.87	32.10	1.23	1.18	3.52	1.98	2.35
2h2348	33.2	27.7	30.6	30.50	30.45	1.28	1.18	3.74	2.07	2.46
N2895	35.6	36.3	36.2	36.03	35.95	1.58	1.50	3.46	2.18	2.48
N 2892	31.8	28.5	31.1	30.47	30.15	1.43	1.38	3.45	2.09	2.42
N 2979	32.1	28.6	33.1	31.27	30.85	1.78	1.45	3.75	2.33	2.60
Average	33.5	29.85	31.33	31.71	–	1.64	1.33	3.61	1.88	–
Index of environmental conditions <i>lj</i>	1.95	-1.71	-0.24	–	–	-2.13	-3.36	5.49	–	–

Результаты сравнительной оценки изучаемых голозерных форм овса показали, что масса 1000 зерен по сортообразцам в годы исследований варьировала от 28,2 до 36,2 г. Наибольшая масса 1000 зерен в среднем за три года наблюдалась у сортообразца Н 2895 (36,03 г) и Азиль (31,87 г), так и в контрастные годы зерно наиболее крупное у этих же сортообразцов: Н 2895 (35,95 г) и Азиль (32,10 г).

Урожайность голозерных форм овса в годы исследований варьировала от 1,18 до 3,90 т/га, в среднем по опыту составила 2,20 т/га. Высокую среднюю урожайность показали образцы 52h2467 (2,49 т/га) и Н 2979 (2,33 т/га). Средняя урожайность

стандартного сорта Немчиновский 61 составила 2,24 т/га. В контрастные годы эти же образцы были самыми высокоурожайными из всех изученных голозерных форм. Высокую урожайность все сортообразцы сформировали в наиболее благоприятном 2022 г., средняя продуктивность по опыту составила 3,61 т/га.

Надежной характеристикой сортов в различных условиях возделывания является показатель их устойчивости к стрессу [14]. Разность $Y_{\min} - Y_{\max}$ имеет отрицательное значение и отражает уровень стресса на условия произрастания. Чем меньше показатель, тем выше стрессоустойчивость. В нашем исследовании высокой стрессоустойчивостью по урожайности характеризовались образцы Н 2895 (–1,96 %) и Н 2892 (–2,07 %) (табл. 2).

Таблица 2

Пластичность голозерных форм овса по урожайности

Сортообразец	Стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$), %	Коэффициент вариации V , %	Индекс экологической пластичности, %	Коэффициент линейной регрессии b_i , %
Немчиновский 61 (стандарт)	–2,31	44,59	1,82	5,38
52h2467	–2,43	42,34	1,91	1,04
Азиль	–2,34	56,91	1,52	1,11
2h2348	–2,56	51,45	1,53	0,97
Н 2895	–1,96	42,35	1,71	0,92
Н 2892	–2,07	47,24	1,64	0,98
Н 2979	–2,30	44,82	1,80	1,03

Table 2

Plasticity of hullless oat varieties by yield

Variety	Stress tolerance ($Y_{\min} - Y_{\max}$), %	Coefficient of variation V , %	Environmental Sustainability Index, %	Linear regression coefficient b_i , %
Nemchinovsky 61 (standard)	–2.31	44.59	1.82	5.38
52h2467	–2.43	42.34	1.91	1.04
Azil	–2.34	56.91	1.52	1.11
2h2348	–2.56	51.45	1.53	0.97
N 2895	–1.96	42.35	1.71	0.92
N 2892	–2.07	47.24	1.64	0.98
N 2979	–2.30	44.82	1.80	1.03

Коэффициент вариации V применяется для выявления величины изменчивости и классификации вариабельности выборки. При $V \leq 10$ % — незначительная изменчивость, при $10 \% \leq V \leq 20$ % — средняя изменчивость, при $V \geq 20$ % — низкая изменчивость. В наших исследованиях коэффициент вариации урожайности

по опыту варьировал от 42,34 до 56,91 %, все сортообразцы отнесены в третью группу, что соответствует низкой изменчивости.

ИЭП у всех сортообразцов больше 1,00. Известно, что чем выше значение ИЭП, тем пластичнее генотип, при этом за точку отсчета принимают единицу [12]. Это позволяет сделать вывод о том, что все сортообразцы в исследуемом наборе пластичные. Наиболее высокий показатель ИЭП отмечен у образца 52h2467 (1,91 %).

Коэффициент линейной регрессии b_i позволяет выявить отзывчивость сортов на изменение условий выращивания. Согласно результатам исследований, у большинства изученных форм голозерного овса b_i равный и близкий единице, что указывает на их пластичность. Величина коэффициента $b_i > 1$ указывает на то, что сорт обладают большей отзывчивостью на улучшение условий выращивания и рекомендуется для возделывания с высоким уровнем агротехники. По результатам исследований выделился сорт стандарт Немчиновский 61, с показателем b_i — 5,38 %.

Индекс стабильности L' — важная характеристика сорта. Образцы с большим L' представлены как более приспособленные к условиям возделывания. Самый высокий индекс стабильности отмечен у образцов 52h2467 (116,99 %), Н 2979 (103,12 %) и Н 2895 (102,25 %) (табл. 3). У них же самый высокий ПУСС — 11,188...14,644 %, т.е. данные образцы могут давать одинаково высокий урожай в любых условиях выращивания. В наших исследованиях размах урожайности d высокий и находился в пределах 56,585...68,593 %. Чем ниже размах урожайности, тем стабильнее объект в конкретных условиях. S^2d составила от 5,304 до 17,336 %. Самый низкий размах урожайности отмечен у образца Н 2895 (56,585 %), соответственно у него же и наименьший показатель меры стабильности (5,304 %).

Таблица 3

Стабильность сортообразцов голозерных форм ярового овса по урожайности

Сортообразец	Индекс стабильности L' , %	Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС), %	Размах урожайности d , %	Мера стабильности S^2d , %
Немчиновский 61 (стандарт)	100	100	66,283	5,580
52h2467	116,99	14,644	62,259	14,597
Азиль	69,01	6,848	66,572	17,336
2h2348	73,50	7,023	68,593	6,183
Н 2895	102,25	11,188	56,585	5,304
Н 2892	87,69	9,180	60,116	6,303
Н 2979	103,12	12,044	61,282	7,253

Table 3

Stability of hullless spring oat varieties by yield

Variety	Stability index L' , %	Indicator of variety stability level (IVSL), %	Swing yield d , %	Stability measure S^2d , %
Nemchinovsky 61 (standard)	100	100	66.283	5.580
52h2467	116.99	14.644	62.259	14.597
Azil	69.01	6.848	66.572	17.336
2h2348	73.50	7.023	68.593	6.183
N 2895	102.25	11.188	56.585	5.304
N 2892	87.69	9.180	60.116	6.303
N 2979	103.12	12.044	61.282	7.253

По массе 1000 зерен образец Н 2895 (0,70 %) наиболее стрессоустойчив (табл. 4). Изменчивость урожайности, выраженная через коэффициент вариации, у всех сортообразцов за исключением стандарта Немчиновский 61 имеет незначительную величину (не превышает 10 %). У стандарта Немчиновский 61 изменчивость средняя — 10,935 %. Наиболее высокий показатель ИЭП (1,145 и 1,200 %) отмечен у образцов Н 2895 и 2h2348 соответственно, у всех остальных образцов этот показатель в пределах 1 (0,938...1,001 %). По показателю массы 1000 зерен все сортообразцы проявили себя как неустойчивые на изменение условий выращивания, коэффициент пластичности b_i составил от 2,626 до 5,621 %.

Таблица 4

Пластичность голозерных форм овса по массе 1000 зерен

Сортообразец	Стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$), %	Коэффициент вариации V , %	Индекс экологической пластичности (ИЭП), %	Коэффициент линейной регрессии b_i , %
Немчиновский 61 (стандарт)	-4,80	10,935	0,987	5,557
52h2467	-4,00	7,518	0,938	5,014
Азиль	-5,20	8,257	1,001	5,530
2h2348	-5,50	9,021	1,200	5,621
Н 2895	0,70	1,051	1,145	2,626
Н 2892	-3,30	5,707	0,965	4,510
Н 2979	-3,50	7,557	0,991	4,494

Table 4

Plasticity of hullless oat varieties by 1000 seed weight

Variety	Stress tolerance ($Y_{\min} - Y_{\max}$), %	Coefficient of variation V, %	Environmental Sustainability Index (ESI), %	Linear regression coefficient b_j , %
Nemchinovsky 61 (standard)	-4.80	10.935	0.987	5.557
52h2467	-4.00	7.518	0.938	5.014
Azil	-5.20	8.257	1.001	5.530
2h2348	-5.50	9.021	1.200	5.621
N 2895	0.70	1.051	1.145	2.626
N 2892	-3.30	5.707	0.965	4.510
N 2979	-3.50	7.557	0.991	4.494

L' по массе 1000 зерен у всех сортообразцов высокий и значительно варьировал от 129,463 до 187,100 % (таб. 5). По ПУСС и размаху массы 1000 зерен d выделился образец Н 2895. Уровень стабильности составил 1524 %, размах массы 1000 зерен — 1,928. Мера стабильности S^2d очень высокая и варьировала от 16,008 до 114,808 %. По показателю меры стабильности можно отметить, что данные сортообразцы не могут давать наиболее крупное зерно в неблагоприятных условиях выращивания.

Таблица 5

Стабильность сортообразцов голозерных форм ярового овса по массе 1000 зерен

Сортообразец	Индекс стабильности L' , %	Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС), %	Размах урожайности d , %	Мера стабильности S^2d , %
Немчиновский 61 (стандарт)	100	100	18,857	39,244
52h2467	138,147	136,135	12,422	32,262
Азиль	135,264	139,439	14,986	35,978
2h2348	129,463	114,704	16,566	36,821
Н 2895	139,999	1524,711	1,928	16,008
Н 2892	187,100	186,336	10,377	17,402
Н 2979	145,005	144,920	13,595	114,808

Table 5

Stability of hullless spring oat varieties by 1000 seed weight

Variety	Stability index L' , %	Indicator of variety stability level (IVSL), %	Swing yield d , %	Stability measure S^2d , %
Nemchinovsky 61 (standard)	100	100	18.857	39.244
52h2467	138.147	136.135	12.422	32.262
Azil	135.264	139.439	14.986	35.978
2h2348	129.463	114.704	16.566	36.821

Variety	Stability index L' , %	Indicator of variety stability level (IVSL), %	Swing yield d , %	Stability measure S^2d , %
N 2895	139.999	1524.711	1.928	16.008
N 2892	187.100	186.336	10.377	17.402
N 2979	145.005	144.920	13.595	114.808

Результаты исследований позволили выделить наиболее ценные образцы голозерных форм овса, которые сочетают экологическую стабильность, пластичность по показателю признака масса 1000 зерен и урожайности.

Заклучение

В условиях Северного региона выделены сортообразцы отличающиеся по некоторым показателям пластичности и стабильности по урожайности зерна и массе 1000 зерен. К наиболее пластичным по урожайности овсам голозерной формы относится образец 52h2467 ($b_i = 1,04$ %, ИЭП = 1,91 %). По показателю стабильности урожайности зерна выделены селекционные образцы: 52h2467 ($L' = 116,99$ %, ПУСС = 14,644 %); Н 2895 ($L' = 102,25$ %, ПУСС = 11,188 %); Н 2979 ($L' = 103,12$ %, ПУСС = 12,044 %).

В результате исследований выявлен наиболее пластичный и стабильный по массе 1000 зерен образец Н 2895 (ПУСС = 1524,711 %; ИЭП = 1,145 %; $V = 1,051$ %; $L' = 139,999$ %). Данный образец сочетал высокие признаки как по массе 1000 зерен, так и по урожайности.

Список литературы

1. Баталова Г.А., Лоскутов И.Г., Шевченко С.Н., Жуйкова О.А., Кротова Н.В., Тулякова М.В. Селекция овса голозерного сорта Вировец // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 4. С. 8–11. doi: 10.31857/S2500-2627201948-11
2. Šubarić D., Babić J., Lalić A., Ačkar Đ., Kopjar M. Isolation and Characterisation of Starch from Different Barley and Oat Varieties // Czech Journal of Food Sciens (CJFS). 2011. V. 29. № 4. P. 354–360. doi: 10.17221/297/2010-CJFS
3. Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 6. С. 53–60. doi: 10.18699/VJ19.541
4. Баталова Г.А., Шевченко С.Н., Тулякова М.В., Русакова И.И., Железникова В.А., Лисицын Е.М. Селекция голозерного овса, ценного по качеству зерна // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 5. С. 6–9.
5. Андреев Н.Р., Баталова Г.А., Носовская Л.П., Адикаева Л.В., Гольдштейн В.Г., Шевченко С.Н. Оценка технологических свойств некоторых сортов голозерного овса как сырья для производства крахмала // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 1 (17). С. 83–88.
6. Holland J.B., Bjørnstad Å., Frey K., Gullord M., Wesenberg D.M. Recurrent Selection for broad Adaptation Affects Stability of Oat // *Euphytica*. 2002. Vol. 126. Pp. 265–274. doi: 10.1023/A:1016394208780
7. Баталова Г.А. Овес в Волго-Вятском регионе. Киров: Орма, 2013. С. 228.
8. Сайнакова А.Б., Литвинчук О.В. Оценка экологической пластичности и стабильности коллекционных образцов овса по массе 1000 зерен // Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. № 4(64). С. 72–74.

9. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // *Crop Science*. 1966. Vol. 6. № 1. P. 36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
10. Rossielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // *Crop science*. 1981. Vol. 21. № 6. P. 27–29. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
11. Грязнов А.А. Селекция ячменя в Северном Казахстане // *Селекция и семеноводство*. 2000. № 4. С. 2–8.
12. Хангильдин В.В., Асфондиярова Р.Р. Проявление гомеостаза у гибридов гороха посевного // *Биологические науки*. 1977. № 1. С. 116–121.
13. Нettekвич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна // *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985. № 1. С. 66–73.
14. Николаев П.Н., Анисков Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях Омского Прииртышья // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2018. Т. 179. № 4. С. 28–38. doi: 10.30901/2227-8834-2019-28-38

References

1. Batalova GA, Loskutov IG, Shevchenko SN, Zhuikova OA, Krotova NV, Tulyakova MV. To question about breeding naked oat Virovets. *Russian Agricultural Sciences*. 2019;(4):8–11. (In Russ.). doi: 10.31857/S2500-2627201948-11
2. Šubarić D, Babić J, Lalić A, Ačkar Đ, Kopjar M. Isolation and characterisation of starch from different barley and oat varieties. *Czech Journal of Food Sciences*. 2011;29(4):354–360. doi: 10.17221/297/2010-CJFS
3. Polonsky VI, Surin NA, Gerasimov SA, Lipshin AG, Sumina AV, Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):53–60. (In Russ.). doi: 10.18699/VJ19.541
4. Batalova GA, Shevchenko SN, Tulyakova MV, Rusakova II, Zheleznikova VA, Lisitsyn EM. Selection of naked oats having high-quality grain. *Russian Agricultural Sciences*. 2016;(5):6–9. (In Russ.).
5. Andreev NR, Batalova GA, Nosovskaya LP, Adikaeva LV, Goldstein VG, Shevchenko SN. Evaluation of technological properties of some varieties of naked oats as raw material for the manufacture of starch. *Legumes and groat crops*. 2016;(1):83–89. (In Russ.).
6. Holland JB, Bjørnstad AB, Frey KJ, Gullord M, Wesenberg DM. Recurrent selection for broad adaptation affects stability of oat. *Euphytica*. 2002;126:265–274. doi: 10.1023/A:1016394208780
7. Batalova GA. *Oves v Volgo-Vyatskom regione* [Oats in the Volga-Vyatka region]. Kirov: Orma publ.; 2013. (In Russ.).
8. Sainakova AB, Litvinchuk OV. Assessment of ecological plasticity and stability of collection samples of oats by weight of 1000 grains. *Bulletin of Kemerovo State University*. 2015;(4–3):72–74. (In Russ.).
9. Eberhart SA, Russell WA. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
10. Rossielle AA, Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop science*. 1981;21(6):943–946. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
11. Gryaznov AA. Barley breeding in Northern Kazakhstan. *Seleksiya i semenovodstvo*. 2000;(4):2–8. (In Russ.).
12. Hangildin VV, Asfondiyarova RR. The manifestation of homeostasis in hybrids of seeded peas. *Scientific Review. Biological Sciences*. 1977;(1):116–121. (In Russ.).
13. Nettekвич ED, Morgunov AI, Maksimenko MI. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, yield and grain quality. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 1985;(1):66–73. (In Russ.).
14. Nikolaev PN, Aniskov NI, Yusova OA, Safonova IV. Adaptability of spring oat yield in the environments of the NEAR-IRTYSh area in Omsk province. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2018;179(4):28–38. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2019-28-38

Об авторах:

Зобнина Ирина Валентиновна — научный сотрудник лаборатории растениеводства, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения

Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20; e-mail: 4856409@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8585-0036 SPIN-код: 2731-8644

Корелина Валентина Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лаборатории растениеводства, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20; e-mail: 19651960@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6052-7574 SPIN-код: 6921-4070

Батакова Ольга Борисовна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории растениеводства, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, пр. Никольский, д. 20; e-mail: obb05@bk.ru

ORCID: 0000-0002-9883-6054 SPIN-код: 7608-3841

About authors:

Zobnina Irina Valentinovna — Researcher, Laboratory of Plant Breeding, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky ave., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: 4856409@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8585-0036 SPIN-код: 2731-8644

Korelina Valentina Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory of Plant Growing, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky ave., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: 19651960@mail.ru

ORCID: 0000-0001-6052-7574 SPIN-код: 6921-4070

Batakova Olga Borisovna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Plant Growing, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Nikolsky ave., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: obb05@bk.ru

ORCID: 0000-0002-9883-6054 SPIN-код: 7608-3841



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-90-100

EDN: AFVNUV

УДК 631.527.633.13

Научная статья / Research article

Новые перспективные пленчатые линии ярового овса в Омском аграрном научном центре

П.Н. Николаев , О.А. Юсова ✉, С.В. Васюкевич

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Российская Федерация
✉ yusova@anc55.ru

Аннотация. Экономические, технологические и климатические предпосылки последних двух десятилетий определяют новые, актуальные требования к возделываемым сортам сельскохозяйственных культур. Для стабильного формирования высококачественного урожая необходимы новые адаптивные сорта. Цель исследования — выделение в питомнике конкурсного сортоиспытания Омского аграрного научного центра перспективных пленчатых линий овса по основным показателям качества зерна и продуктивности для дальнейших исследований. Приведены результаты изучения Омских пленчатых линий ярового овса в 2019–2021 гг. Объект испытания — 8 пленчатых линий, стандартом выступал сорт Орион. Представлены данные исследований качественных показателей зерна: массовой доли белка, крахмала и сырого жира, а также массы 1000 зерен. Проведен расчет адаптивности и стабильности данных показателей (по Eberhart и Russell). Достоверно превышали стандарт по содержанию белка в зерне линии Мутика 1178, Мутика 1180, Мутика 1195, Мутика 1196, Мутика 1200, Мутика 1202 и Мутика 1205 (+0,9...2,6 % к st); по содержанию крахмала — линия Мутика 1147 (+1,5...2,3 % к st); сырого жира — Мутика 1147, Мутика 1195, Мутика 1200, Мутика 1202, Мутика 1205 (+0,6...1,3 % к st); по массе 1000 зерен — Мутика 1147 и Мутика 1178 (+0,9...3,4 г к st). Для дальнейших исследований рекомендуются следующие перспективные линии, стабильные по массовой доле белка (Мутика 1180, Мутика 1195, Мутика 1200, Мутика 1202, Мутика 1205); крахмала (Мутика 1196), сырого жира (Мутика 1147, Мутика 1178, Мутика 1180, Мутика 1195, Мутика 1196, Мутика 1200, Мутика 1202, Мутика 1205) и массе 1000 зерен (Мутика 1195, Мутика 1202, Мутика 1205).

Ключевые слова: белок, крахмал, сырой жир, стабильность, пластичность

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

История статьи: поступила в редакцию 12 августа 2022 г., принята к публикации 29 сентября 2023 г.

Для цитирования: Николаев П.Н., Юсова О.А., Васюкевич С.В. Новые перспективные пленчатые линии ярового овса в Омском аграрном научном центре // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротомия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 90–100. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-90-100

© Николаев П.Н., Юсова О.А., Васюкевич С.В., 2024



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

New perspective hulled spring oat lines in Omsk agricultural research center

Petr N. Nikolaev^{ID}, Oksana A. Yusova^{ID}✉, Sergey V. Vasyukevich

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russian Federation

✉ yusova@anc55.ru

Abstract. The economic, technological, and climatic prerequisites of recent 2 decades determine new relevant requirements for cultivated varieties of agricultural crops. For the stable formation of a high-quality harvest, new adaptive varieties are needed. The purpose of the research was to identify promising hulled oats lines in the competitive nursery of Omsk Agrarian Scientific Center by the main indicators of grain quality and productivity for further research. Omsk hulled lines of spring oats were studied in scientific long-term research (2019–2021). The test object was 8 hulled oat lines, the Orion variety was the standard. The data of the following grain quality indicators were presented: mass fraction of protein, starch and crude fat, 1000 seed weight. The adaptability and stability of these indicators were calculated according to Eberhart and Russell. Mutika 1178, Mutika 1180, Mutika 1195, Mutika 1196, Mutika 1200, Mutika 1202 and Mutika 1205 lines significantly exceeded the standard in protein content in grain (+0.9...2.6 % to st); Mutika 1147 exceeded the standard in starch content (+1.5...2.3 % to st); Mutika 1147, Mutika 1195, Mutika 1200, Mutika 1202, Mutika 1205 — in crude fat (+0.6...1.3 % to st); Mutika 1147 and Mutika 1178 — in 1000 seed weight (+0.9...3.4 g to st). For further research, the following promising lines are recommended: stable in protein mass fraction (Mutika 1180, Mutika 1195, Mutika 1200, Mutika 1202, Mutika 1205); stable in starch (Mutika 1196), stable in crude fat (Mutika 1147, Mutika 1178, Mutika 1180, Mutika 1195, Mutika 1196, Mutika 1200, Mutika 1202, Mutika 1205) and stable in 1000 seed weight (Mutika 1195, Mutika 1202, Mutika 1205).

Key words: protein, starch, crude fat, stability, plasticity

Conflicts of interest. The authors declare no conflict of interest.

Article history: Received: 12 August 2022. Accepted: 29 September 2023.

For citation: Nikolaev PN, Yusova OA, Vasyukevich SV. New perspective hulled spring oat lines in Omsk agricultural research center. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):90–100. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-90-100

Введение

Овес — это традиционно культура северных районов, широко распространенная в Сибири, способная обеспечивать урожайность в холодном климате и разнообразная по использованию [1, 2].

Общемировая площадь возделывания овса составляет 26 млн га; средняя урожайность — 1,7 т/га¹.

По объему в сельском хозяйстве России культура овса составляет 4,3 % от производства зерна и занимает третье место после пшеницы и ячменя. Площади посева имеют тенденцию к ежегодному сокращению от 4,9 млн га в 2001 г. до 2,5 млн га в 2021 г. (рис. 1). В посевах, в основном, распространены пленчатые сорта овса.

¹ Инновации в технологии возделывания овса – Раздолье // ИКАР. 2020. Режим доступа: <http://ikar.ru/articles/282.html>. Дата обращения 07.06.2022.

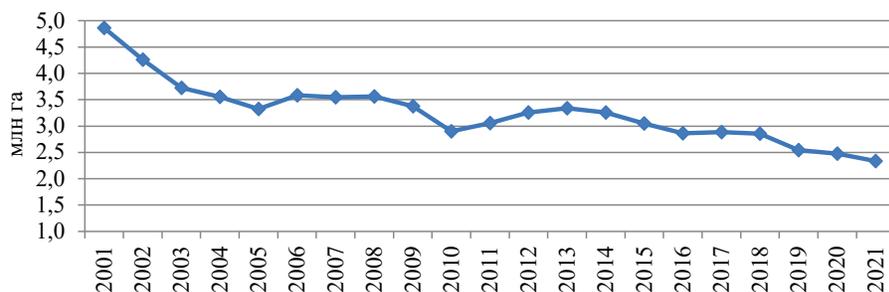


Рис. 1. Площадь посева овса в России, млн га, 2001–2021 гг.

Источник: сделано авторами

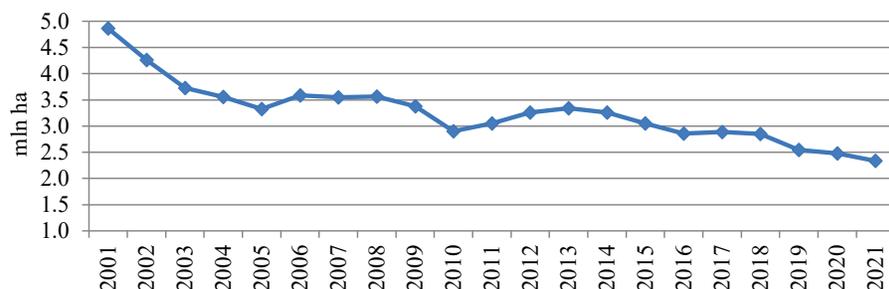


Fig. 1. Oat cultivation area in Russia, million hectares, 2001–2021

Source: created by authors

Аналогично доля посевов овса, как в общей площади пашни, так и в зерновом клине, снизилась за двадцать лет в два раза (рис. 2). Это говорит о недооцененности овса как кормового и пищевого злака. Использование овса, как правило, ограничено зернофуражными целями, в то время как эта культура широко используется для производства пищевой и диетической продукции².

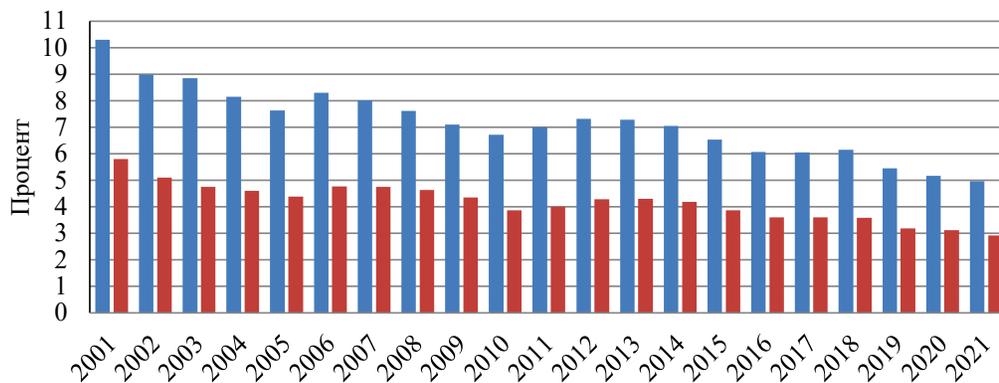


Рис. 2. Доля площади посева овса в РФ, %, 2001–2021 гг.

Источник: сделано авторами

² ГОСТ 28673–90. Овес. Требования при заготовках и поставках. 2009. 7 с.

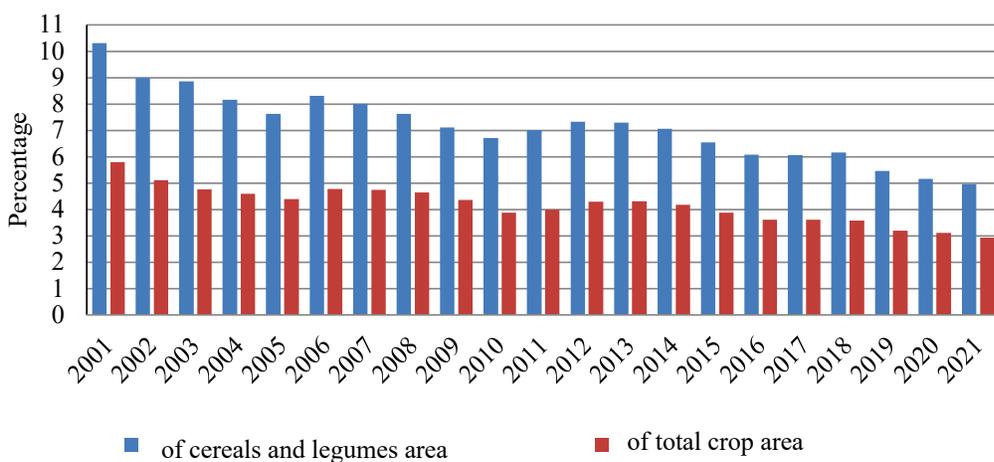


Fig. 2. Share of oat cultivation area in Russia, %, 2001–2021

Source: created by authors

Омский аграрный научный центр является комплексным учреждением, ведущим селекцию и семеноводство по 14 культурам. Одним из структурных подразделений Центра является лаборатория зернофуражных культур. За более чем 100-летний период работы, коллективом данной лаборатории создано 18 сортов овса. В Госреестр РФ включены 11 сортов (из них 9 сортов пленчатые), еще 2 пленчатых сорта находятся на Государственном сортоиспытании [3].

Показателем востребованности сортов овса селекции Омского аграрного научного центра является их доля в сортовых посевах Омской области, составляющая около 95 %. Бесперебойная передача на государственное сортоиспытание новых перспективных сортов и дальнейшее их внедрение на рынок АПК позволяет актуализировать интерес к данной культуре у сельхозтоваропроизводителей. Однако, несмотря на имеющиеся успехи, необходимо улучшать показатели продуктивности и качества зерна овса [4, 5].

Цель исследований — выделение в питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ) Омского аграрного научного центра перспективных пленчатых линий овса.

Материалы и методы исследования

Питомник КСИ закладывали по пару. Посев производили в оптимальные для каждой исследуемой культуры сроки на площади 10 м² сеялкой ССФК-7М. Повторность — четырехкратная.

Погодные условия были очень контрастными, что характерно для резкоконтинентального климата и позволило получить более полную характеристику селекционного материала.

В 2019 г. период май — сентябрь характеризовался гидротермическим обеспечением, близким к среднеголетнему значению (ГТК = 1,1): средняя темпе-

ратура воздуха — 15,4 °С (–0,1 °С от нормы), сумма осадков — 240,7 мм (102,4 % от нормы).

Период май — сентябрь в 2020 г. в целом был засушливым (ГТК = 0,69): средняя температура воздуха — 17,1 °С (+1,6 °С к норме), сумма осадков — 174,1 мм (74,1 %).

В 2021 г. период май — сентябрь характеризовался засушливыми погодными условиями (ГТК = 0,58): средняя температура воздуха — 16,7 °С (+1,2 °С к норме), сумма осадков — 168,0 мм (71,2 % от нормы). Засуха особенно сильно проявилась в конце мая и в июле.

Биохимические показатели определяли с использованием современных и традиционных методов и технологий: содержание азота в зерне — на автоматическом анализаторе Kjeltex Auto 1030 Analyzer (коэффициент пересчета азота на белок для зерна ячменя — 5,7); содержание сырого жира — в аппарате Сокслета по разности обезжиренного и необезжиренного остатка; содержание крахмала в зерне — поляриметрическим методом³.

Пластичность и стабильность линий ячменя по показателям качества зерна и продуктивности рассчитана по S.A. Eberhart, W.A. Russell [6].

Результаты исследований статистически обработаны по пособию Б.А. Доспехова⁴ с использованием табличного процессора Microsoft Excel.

Результаты исследования и обсуждение

Овес — ценная кормовая и продовольственная культура, которая ценится за высокие качественные показатели зерна [7, 8]. Имеются указания на существенное улучшение качества зерна путем средств интенсификации производства [8, 9], а также фракционированием [11].

В условиях периода вегетации 2021 г. все показатели качества сформировались на уровне 2020 г. (табл. 1); по отношению к данным 2019 г. наблюдалось превышение по массовой доле белка и крахмала (+ 3,62 и 3,86 %), а также крупности зерна (+ 2,25 г).

Таблица 1

Сравнительная характеристика качества зерна овса, в среднем за 2019–2021 гг.

Год	Массовая доля, %			Масса 1000 зерен, г
	белка	крахмала	сырого жира	
2019	12,25	44,43	5,20	31,30
2020	16,20	49,06	2,31	33,30
2021	15,87	48,29	2,75	33,55
НСР ₀₅	0,90	0,48	0,89	3,00

³ Плешков Б.В. Практикум по биохимии растений. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 255 с.

⁴ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е. М.: Альянс, 2011. 350 с.

Table 1

Comparative characteristics of oat grain quality (2019–2021)

Year	Mass fraction, %			1000 seed weight, g
	protein	starch	crude fat	
2019	12.25	44.43	5.20	31.30
2020	16.20	49.06	2.31	33.30
2021	15.87	48.29	2.75	33.55
LSD ₀₅	0.90	0.48	0.89	3.00

Ценность использования овсяных продуктов в питании определяет качество белка [12], а также масличность [13] и крахмалистость [14] зерна. Показано, что в контрастных экологических условиях овес проявляет существенно более высокий уровень адаптивности по массе 1000 зерен в сравнении с ячменем и пшеницей [15].

В группе пленчатых у стандартного сорта Орион содержание белка составило 11,6 %, крахмала — 40,8 %, сырого жира — 2,5 %, массы 1000 зерен — 36,2 г, в среднем за период исследований (табл. 2). Изменчивость исследуемых признаков средняя ($10 \% < CV < 20 \%$).

Таблица 2

Характеристика пленчатых линий овса по качеству зерна, питомник КСИ, в среднем за 2019–2021 гг.

Сорт, линия	Массовая доля, %						Масса 1000 зерен, г	
	белка		крахмала		сырого жира			
	min...max	\bar{x}	min...max	\bar{x}	min...max	\bar{x}	min...max	\bar{x}
Орион, st.	10,2...13,6	11,6	39,2...42,1	40,8	1,5...3,3	2,5	32,6...40,2	36,2
Мутика 1147	9,2...14,6	11,9	41,5...43,5	42,5	2,5...4,2	3,5	36,0...38,9	37,6
Мутика 1178	11,2...15,4	13,3	36,2...43,5	39,8	2,3...2,9	2,6	34,1...47,3	39,6
Мутика 1180	11,7...13,8	12,6	39,5...43,1	40,9	2,1...3,0	2,5	30,9...36,7	33,3
Мутика 1195	12,7...15,6	14,2	39,2...39,8	39,5	2,9...3,2	3,1	33,9...34,6	34,2
Мутика 1196	11,8...14,6	13,2	39,5...39,5	39,5	2,5...3,0	2,8	35,5...37,2	36,3
Мутика 1200	11,0...12,7	11,9	39,8...42,8	41,3	3,6...3,9	3,8	31,1...34,1	32,6
Мутика 1202	11,5...13,8	12,6	38,8...41,8	40,3	3,5...4,5	4,0	33,1...33,5	33,3
Мутика 1205	11,0...13,9	12,5	37,9...44,1	41,0	3,0...3,7	3,4	34,3...35,8	35,0
HCP ₀₅	—	0,6	—	1,7	—	0,5	—	0,8
CV, %	—	18,9	—	16,1	—	18,0	—	10,5

Table 2

Characteristics of hulled oats by grain quality, competitive nursery (2019–2021)

Cultivar, line	Mass fraction, %						1000 seed weight, g	
	protein		starch		crude fat			
	min...max	\bar{x}	min...max	\bar{x}	min...max	\bar{x}	min...max	\bar{x}
Orion, st.	10.2...13.6	11.6	39.2...42.1	40.8	1.5...3.3	2.5	32.6...40.2	36.2
Mutika 1147	9.2...14.6	11.9	41.5...43.5	42.5	2.5...4.2	3.5	36.0...38.9	37.6
Mutika 1178	11.2...15.4	13.3	36.2...43.5	39.8	2.3...2.9	2.6	34.1...47.3	39.6
Mutika 1180	11.7...13.8	12.6	39.5...43.1	40.9	2.1...3.0	2.5	30.9...36.7	33.3
Mutika 1195	12.7...15.6	14.2	39.2...39.8	39.5	2.9...3.2	3.1	33.9...34.6	34.2
Mutika 1196	11.8...14.6	13.2	39.5...39.5	39.5	2.5...3.0	2.8	35.5...37.2	36.3
Mutika 1200	11.0...12.7	11.9	39.8...42.8	41.3	3.6...3.9	3.8	31.1...34.1	32.6
Mutika 1202	11.5...13.8	12.6	38.8...41.8	40.3	3.5...4.5	4.0	33.1...33.5	33.3
Mutika 1205	11.0...13.9	12.5	37.9...44.1	41.0	3.0...3.7	3.4	34.3...35.8	35.0
LSD ₀₅	–	0.6	–	1.7	–	0.5	–	0.8
CV, %	–	18.9	–	16.1	–	18.0	–	10.5

Достоверно превышали стандарт по содержанию белка в зерне линии Мутика 1178, Мутика 1180, Мутика 1195, Мутика 1196, Мутика 1200, Мутика 1202 и Мутика 1205 (+0,9...2,6 % к st); по содержанию крахмала — линия Мутика 1147 (+1,5...2,3 % к st); сырого жира — Мутика 1147, Мутика 1195, Мутика 1200, Мутика 1202, Мутика 1205 (+0,6...1,3 % к st); по массе 1000 зерен — Мутика 1147 и Мутика 1178 (+0,9...3,4 г к st).

Вновь создаваемые сорта должны характеризоваться не только повышенными показателями качества зерна и продуктивности, но также должны обладать адаптивностью к изменяющимся условиям окружающей среды [16].

Анализ коэффициентов регрессии b_i (табл. 3) позволил все исследуемые сорта по основным показателям качества зерна и продуктивности разделить на три группы:

1) $b_i > 1$: Мутика 1147, Мутика 1178 (массовая доля белка); Мутика 1178 и Мутика 1180 (массовая доля крахмала); Мутика 1147 (массовая доля сырого жира); Мутика 1178, Мутика 1180 (масса 1000 зерен) — линии интенсивного типа;

2) b_i от 0,96 до 1,06: Мутика 1195, Мутика 1196, Мутика 1205 (массовая доля белка) — полное соответствие показателей качества изменению условий выращивания;

3) остальные сорта (при $b_i < 1$) относятся к экстенсивному типу.

Таблица 3

Адаптивность пленчатых линий овса, в среднем за 2019–2021 гг.

Сорт, линия	Массовая доля						Масса 1000 зерен	
	белка		крахмала		сырого жира			
	b_j	σ_d^2	b_j	σ_d^2	b_j	σ_d^2	b_j	σ_d^2
Пленчатая группа								
Орион, st.	1,43	0,21	0,72	3,83	1,33	1,14	1,59	2,21
Мутика 1147	1,57	5,11	0,44	1,64	1,44	0,89	0,53	3,87
Мутика 1178	1,27	2,88	2,71	1,65	0,28	0,18	6,83	2,89
Мутика 1180	0,79	0,27	2,02	0,57	0,11	0,44	2,74	6,78
Мутика 1195	0,99	0,63	0,08	0,20	0,17	0,02	0,19	0,18
Мутика 1196	0,96	0,60	0,00	0,01	0,35	0,07	0,45	1,00
Мутика 1200	0,56	0,20	0,38	4,11	0,19	0,02	0,80	3,19
Мутика 1202	0,80	0,41	0,38	4,13	0,69	0,28	0,09	0,04
Мутика 1205	0,97	0,61	0,79	1,33	0,48	0,14	0,42	0,88

Table 3

Adaptability of hulled oats (2019–2021)

Cultivar, line	Mass fraction, %						1000 seed weight, g	
	protein		starch		crude fat			
	b_j	σ_d^2	b_j	σ_d^2	b_j	σ_d^2	b_j	σ_d^2
Hulled group								
Orion, st.	1.43	0.21	0.72	3.83	1.33	1.14	1.59	2.21
Mutika 1147	1.57	5.11	0.44	1.64	1.44	0.89	0.53	3.87
Mutika 1178	1.27	2.88	2.71	1.65	0.28	0.18	6.83	2.89
Mutika 1180	0.79	0.27	2.02	0.57	0.11	0.44	2.74	6.78
Mutika 1195	0.99	0.63	0.08	0.20	0.17	0.02	0.19	0.18
Mutika 1196	0.96	0.60	0.00	0.01	0.35	0.07	0.45	1.00
Mutika 1200	0.56	0.20	0.38	4.11	0.19	0.02	0.80	3.19
Mutika 1202	0.80	0.41	0.38	4.13	0.69	0.28	0.09	0.04
Mutika 1205	0.97	0.61	0.79	1.33	0.48	0.14	0.42	0.88

Дополнительный параметр изменчивости — это степень стабильности. При условии пониженных значений данного показателя наблюдается более высокая устойчивость исследуемого признака.

Так, высокая стабильность отмечена у сортов по следующим показателям качества: Мутика 1180, Мутика 1195, Мутика 1196, Мутика 1200, Мутика 1202, Мутика 1205 (массовая доля белка); Мутика 1180, Мутика 1195 и Мутика 1196 (массовая доля крахмала); Мутика 1147, Мутика 1178, Мутика 1180, Мутика 1195,

Мутика 1196, Мутика 1200, Мутика 1202, Мутика 1205 (массовая доля сырого жира); Мутика 1195, Мутика 1202, Мутика 1205 (масса 1000 зерен), при $\sigma_a^2 < 1$.

Высокой отзывчивостью на улучшение условий среды и высокой стабильностью (при $b_i > 1$ и $\sigma_a^2 < 1$) обладали линии Мутика 1147 (массовая доля сырого жира); Мутика 1180 (массовая доля сырого крахмала).

Заключение

1. В условиях периода вегетации 2021 г. все показатели качества сформировались на уровне 2020 г. по отношению к данным 2019 г. Наблюдалось превышение по массовой доле белка и крахмала (+3,62 и 3,86 %), а также крупности зерна (+ 2,25 г).

1. Для дальнейших исследований рекомендуются следующие перспективные линии:

— Мутика 1147: +1,0 % к st по массовой доле сырого жира; +1,4 г к st по массе 1000 зерен; отзывчивость на улучшение условий среды, стабильность по содержанию сырого жира.

— Мутика 1178: +1,7 % к st по массовой доле белка; +3,4 г к st по массе 1000 зерен; интенсивность по содержанию белка и крахмала ($b_i > 1$), стабильность ($\sigma_a^2 < 1$) по содержанию сырого жира.

— Мутика 1180: +1,0 % к st по массовой доле белка. Отзывчивость на улучшение условий среды, стабильность (при $b_i > 1$ и $\sigma_a^2 < 1$) по массовой доле крахмала, стабильность ($\sigma_a^2 < 1$) по белку и сырному жиру.

— Мутика 1195: выделяется по содержанию белка и сырого жира (+2,6 и 0,6 % к st соответственно), стабилен по указанным признакам, а также по массе 1000 зерен.

— Мутика 1196: +1,6 % к st по содержанию белка; стабильность по массовой доле крахмала и сырого жира.

— Мутика 1200: +1,3 % к st по массовой доле сырого жира; стабильность ($\sigma_a^2 < 1$) по содержанию белка и сырого жира.

— Мутика 1202: превосходит стандарт по содержанию белка (+1,0 %) и сырого жира (+1,5 %); стабильна по указанным признакам, а также массе 1000 зерен.

— Мутика 1205: превышает стандарт по массовой доле белка и сырого жира на +0,9 %; стабильна по массовой доле белка, сырого жира и массе 1000 зерен.

Список литературы

1. Еремин Д.И., Моисеева М.Н. Удобрение и овес. проблемы и решения в Западной Сибири // Эпоха науки. 2021. № 25. С. 35–40. doi: 10.24412/2409-3203-2021-25-35-40

2. Любимова А.В., Еремин Д.И. Особенности компонентного состава авенинов овса, возделываемого в Западной Сибири // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179. № 2. С. 85–95. doi: 10.30901/2227-8834-2018-2-85-95

3. Селекционно-семеноводческий центр (ретроспектива, настоящее, будущее) / сост. П.Н. Николаев и др. Омск: ИП Макшеевой Е.А., 2020. 222 с.

4. Юсова О.А., Николаев П.Н., Васюкевич С.В., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Сравнительная оценка стабильности сортов овса по признаку масличности зерна в условиях лесостепной зоны Западной Сибири // Агрофизика. 2022. № 1. С. 35–42. doi: 10.25695/AGRPH.2022.01.06

5. Юсова О.А., Николаев П.Н., Васюкевич С.В., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Скрининг сортов овса омской селекции для условий южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 1. С. 42–53. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-1-42-53
6. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // *Stor. sci.* 1966. Vol. 6. № 1. P. 36–40.
7. Жаркова С.В., Шмидт Р.В. Изменчивость показателей продуктивности и качества зерна овса ярового (*Avena Sativa L.*) в зависимости от сорта и лет исследования // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2018. № 5(163). С. 28–32.
8. Баталова Г.А. Селекция овса на качество зерна в Волго-вятском регионе // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 3(27). С. 81–87. doi: 10.24411/2309-348X-2018-11038
9. Зубарев Ю.Н., Фалалеева Л.В., Черкашин А.Г. Влияние приема предпосевной обработки почвы и применения регулятора роста на урожайность и качество зерна овса в Среднем Предуралье // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 2. С. 22–27. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.2.22
10. Моисеева М.Н. Влияние удобрений на рост и развитие овса в лесостепной зоне Зауралья // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (16). С. 32–36.
11. Pasyukova E.N., Zavalin A.A., Pasyukov A.V., Kotel'nikova N.V. Change in Quality Parameters of hulled Oats grain at Fractionation // *Russian Agricultural Sciences*. 2018. Vol. 44(5). P. 409–413. doi: 10.3103/S1068367418050142
12. Нигматуллина Г.Р., Лукьянов В.Н., Якупова Р.А., Галеев А.Ф., Попова Л.В., Нигаматьянов И.И. Овес — ценная зерновая культура // *Российский электронный научный журнал*. 2022. № 4(46). С. 172–195.
13. Banaś K., Harasym J. Current Knowledge of Content and Composition of Oat Oil-future perspectives of Oat as Oil source // *Food and Bioprocess Technology*. 2021. Vol. 14(2). P. 232–247. doi: 10.1007/s11947-020-02535-5
14. Zhao N., Li B.W., Li D., Fu N., Chen X.D., Wang L.J. Influence of moisture Content on Physicomechanical Properties, Starch-protein Microstructure and Fractal Parameter of Oat groats // *International Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 14. № 5–6. P. 20170365. doi: 10.1515/ijfe-2017-0365
15. Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А., Количенко А.А. Повышенная стабильность образцов овса, ячменя и пшеницы по массе 1000 зерен не связана с меньшей крупностью зерна // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023. Т. 184. № 2. С. 52–65. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65
16. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. № 2. С. 42–49. doi: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

References

1. Eremin DI, Moiseeva MN. Fertilizer and oats. Problems and solutions in Western Siberia. *Era of Science*. 2021;(25):35–40. (In Russ.). doi: 10.24412/2409-3203-2021-25-35-40
2. Lyubimova AV, Eremin DI. Peculiarities of the avenin component composition in oats cultivated in Western Siberia. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2018;179(2):85–95. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2018-2-85-95
3. Chekusov MS, Boiko VS, Nikolaev PN. (eds.) *Seleksionno-semenovodcheskii tsentr: (retrospektiva, nastoyashchee, budushchee)* [Selection and seed production center: (retrospective, present, future)]. Omsk; 2020. (In Russ.).
4. Yusova OA, Nikolaev PN, Vasyukevich SV, Safonova IV, Aniskov NI. Comparative assessment of oat varieties stability based on grain oil content in conditions of forest-steppe zone of Western Siberia. *Agrophysica*. 2022;(1):35–42. (In Russ.). doi: 10.25695/AGRPH.2022.01.06
5. Yusova OA, Nikolaev PN, Vasyukevich SV, Safonova IV, Aniskov NI. Screening of oat cultivars developed in Omsk for conditions of the southern forest-steppe in Western Siberia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021;16(1):42–53. (In Russ.). doi 10.22363/2312–797X–2021–16–1–42–53
6. Eberhart SA, Russell WA. Stability parameters for comparing varieties. *Stor science*. 1966;6(1):36–40. doi: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x
7. Zharkova SV, Schmidt RV. Variability of productivity and quality indices of spring oat grain (*Avena sativa L.*) depending on the variety and years of research. *Bulletin of Altai state agricultural university*. 2018;(5):28–32. (In Russ.).
8. Batalova GA. Oat breeding in Volga-Vyatka region for grain quality. *Legumes and grain crops*. 2018;(3):81–87. (In Russ.). doi: 10.24411/2309-348X-2018-11038

9. Zubarev YN, Falaleeva LV, Cherkashin AG. The effect of pre-sowing tillage method and growth regulator application on the yield capacity and quality of oat grain in the Middle Pre-Urals. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;12(2):22–27. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.2.22
10. Moiseeva MN. Influence of fertilizers on the growth and development of oats in the Zauralie forest-steppe zone. *Vestnik Chuvash state agricultural academy*. 2021;(1):32–36. (In Russ.).
11. Pasyukova EN, Zavalin AA, Pasyukov AV, Kotelnikova NV. Change in quality parameters of hulled oats grain at fractionation. *Russian Agricultural Sciences*. 2018;44(5):409–413. doi: 10.3103/S1068367418050142
12. Nigmatullina GR, Lukyanov VN, Yakupova RA, Galeev AF, Popova LV, Nigmatyanov II. Oats are a valuable grain crop. *Russian electronic scientific journal*. 2022;(4):172–195. (In Russ.). doi: 10.31563/2308-9644-2022-46-4-172-195
13. Banaś K, Harasym J. Current knowledge of content and composition of oat oil-future perspectives of oat as oil source. *Food and Bioprocess Technology*. 2021;14(2):232–247. doi: 10.1007/s11947-020-02535-5
14. Zhao N, Li BW, Fu N, Li D, Wang LJ, Chen XD. Influence of moisture Content on physicochemical properties, starch-protein microstructure and fractal parameter of oat groats. *International Journal of Food Engineering*. 2018;14(5–6):20170365. doi: 10.1515/ijfe-2017-0365
15. Polonsky VI, Sumina AV, Gerasimov SA, Kolichenko AA. Higher stability of oat, barley and wheat accessions in their 1000 grain weight is not associated with a smaller grain size. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2023;184(2):52–65. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-52-65
16. Yusova OA, Nikolaev PN, Safonova IV, Aniskov NI. Changes in oat grain yield and quality with increased adaptability of cultivars. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2020;181(2):42–49. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49

Об авторах:

Николаев Петр Николаевич — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: nikolaev@55anc.ru

ORCID: 0000-0003-3679-8985 SPIN-код: 7096-6529

Юсова Оксана Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: yusova@55anc.ru

ORCID 0000-0002-5192-2967 SPIN-код: 5611-8777

Васюкевич Сергей Владимирович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции зернофуражных культур, Омский аграрный научный центр, Российская Федерация, 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: s.vasyukevich@anc55.ru

SPIN-код: 8372-4260

About authors:

Nikolaev Petr Nikolayevich — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for selection of grain crops, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: nikolaev@55anc.ru

ORCID: 0000-0002-5192-2967 SPIN: 5611-8777

Yusova Oksana Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Genetics, Biochemistry and Plant Physiology, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: yusova@55anc.ru

ORCID: 0000-0003-3679-8985 SPIN: 7096-6529

Vasyukevich Sergey Vladimirovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory for selection of grain forage crops, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: s.vasyukevich@anc55.ru

SPIN: 8372-4260



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-101-110

EDN: AAUKYU

УДК 634:11:631.52

Научная статья / Research article

Оценка полиморфизма гена *Md-ACS1* яблони для выделения идентифицированного состава генофонда и селекции на длительную лежкость плодов

Е.В. Ульяновская  , Е.А. Чернуцкая ,
И.М. Балапанов , И.В. Степанов 

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия,
г. Краснодар, Российская Федерация
 ulyanovskaya_e@mail.ru

Аннотация. Яблоня (*Malus × domestica* Borkh.) — важнейшая многолетняя плодовая культура, широко культивируемая и используемая в мире в сельскохозяйственном производстве. Проблема продления сроков хранения и реализации свежей плодовой продукции культуры имеет достаточно большое значение в связи с круглогодичным активным использованием и востребованностью у населения. Для создания коммерчески привлекательных, востребованных и ценных сортов яблони отечественной селекции, с генетически обусловленной длительной лежкостью плодов значительна роль предбридинга, основанного на изучении и мобилизации имеющихся биологических ресурсов, в т.ч. с использованием метода ДНК-маркирования, для выявления наиболее ценных генотипов по искомому приоритетному признаку. Цель исследования — изучение аллельного полиморфизма гена *Md-ACS1* у 37 коллекционных образцов яблони для выявления источников длительной лежкости плодов и дальнейшего селекционного использования. Научно-исследовательская работа выполнена в Исследовательско-селекционной коллекции генетических ресурсов садовых культур (ЦКП ИСК ГРСК) с использованием общепринятых программ и методик по сортоизучению и селекции яблони. Применены методы ДНК-анализа. Для экстракции ДНК использован метод СТАВ, модифицированный ранее в Северо-Кавказском федеральном научном центре садоводства, виноградарства, виноделия. По данным ДНК-маркирования среди изученных образцов яблони выделены носители гомозиготного аллельного сочетания (*Md-ACS1-2/2*) российской селекции: Персиковое, Георгия, Азимут, гибрид 17/1–6–47 (Champion × Modi) — и зарубежные сорта: Smeralda, Fuji Mimo. Выделенные сорта и формы перспективны в процессе создания отечественных генресурсов с улучшенными коммерческими показателями плодов, в т.ч. генетически обусловленным увеличением длительности периода хранения, и могут быть использованы в селекции с применением ДНК-маркерного отбора по нескольким целевым генам качества, лежкости и плотности мякоти плодов.

Ключевые слова: сорт, гибрид, селекционный процесс, ген, ДНК-анализ, качество плодов

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

© Ульяновская Е.В., Чернуцкая Е.А., Балапанов И.М., Степанов И.В., 2024



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

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22–26–20101, <https://rscf.ru/project/22–26–20101>.

История статьи: поступила в редакцию 17 ноября 2022 г., принята к публикации 22 декабря 2023 г.

Для цитирования: Ульяновская Е.В., Чернуцкая Е.А., Балапанов И.М., Степанов И.В. Оценка полиморфизма гена *Md-ACS1* яблони для выделения идентифицированного состава генофонда и селекции на длительную лежкость плодов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С.101–110. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-101-110

Evaluation of *Md-ACS1* gene polymorphism in apple trees for isolation of the identified composition of gene pool and breeding for long-storage fruits

Elena V. Ulianovskaya  , Evgenia A. Chernutskaya ,
Ilnur M. Balapanov , Ilya V. Stepanov 

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar,
Russian Federation

 ulyanovskaya_e@mail.ru

Abstract. The apple tree (*Malus × domestica* Borkh.) is the most important perennial fruit crop widely cultivated and used in agricultural production around the world. The problem of extending shelf life and sale of fresh fruit crops is of great importance due to the year-round active use and demand among the population. To create commercially attractive, popular and valuable apple varieties of Russian breeding with genetically determined long-term keeping quality of fruits, the role of pre-breeding based on the study and mobilization of available biological resources including the use of DNA marking to identify the most valuable genotypes for the desired priority trait, is significant. The purpose of the study was to study allelic polymorphism of *Md-ACS1* gene in 37 apple accessions to identify sources of long-term storage of fruits for further breeding use. The research was carried out in the Center for Collective Use ‘Research and Breeding Collection of Genetic Resources of Horticultural Crops’ using generally accepted programs and methods for variety study and selection of apple trees. The methods of DNA analysis were applied in the work. For DNA extraction, the CTAB method modified at North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture was used. According to DNA marking data, carriers of homozygous allelic combination (*Md-ACS1*–2/2) were identified among the studied apple accessions of Russian breeding: Persikovoe, Georgiy, Azimut, hybrid 17/1–6–47 (Champion × Modi), and foreign varieties: Smeralda, Fuji Mimo. The selected varieties and forms are promising in creating Russian genetic resources with improved commercial fruit traits including genetically determined increase in length of storage period. They can be used in breeding using DNA-marker selection for several target genes of quality, keeping quality and density of fruit pulp.

Key words: variety, hybrid, breeding process, gene, DNA analysis, fruit quality

Conflicts of Interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The research was funded by Russian Science Foundation and Kuban science Foundation (no. 22–26–20101, <https://rscf.ru/project/22–26–20101>).

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Article history: Received: 17 November 2022. Accepted: 22 December 2023.

For citation: Ulianovskaya EV, Chernutskaya EA, Balapanov IM, Stepanov IV. Evaluation of *Md-ACS1* gene polymorphism in apple trees for isolation of the identified composition of gene pool and breeding for long-storage fruits. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):101–110. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-101-110

Введение

Коммерческая привлекательность и востребованность современных сортов яблони базируется на комплексе важнейших признаков: крупноплодность, однородность, округлая или округло-коническая форма плода, равномерная сплошная покровная окраска (чисто желтая, красная различной интенсивности или чисто зеленая), десертный вкус, аромат, высокая транспортабельность, длительный срок хранения свежих плодов и др. Особенно важен признак «лежкость плодов» для наиболее востребованных производством и широко распространенных сортов яблони зимнего и позднезимнего сроков созревания.

На современном этапе селекции многолетней плодовой культуры яблони предпочтительно использование методов ДНК-маркирования как для оценки сортов, пополняющих коллекцию [1], так и для создаваемого нового сортового и гибридного материала [2]. Данные исследования проводят у нас в стране [3] и за рубежом [4], что позволяет использовать методы ДНК-маркирования при идентификации целевых генов яблони для ускорения селекционного процесса на различных его этапах. В связи с гетерозиготностью, длительным периодом ювенильного возраста яблони и сложностью происхождения культуры стоит отметить значительную трудоемкость, энергозатратность, длительность сроков и сложность большинства этапов селекции на основе традиционных методов. Использование методов ДНК-маркирования в селекции плодовых растений позволяет как усилить эффективность работы селекционера, так и значительно ускорить собственно селекционный процесс многолетних культур.

Цель исследования — изучение аллельного полиморфизма гена *Md-ACS1* у 37 коллекционных образцов яблони для выявления источников длительной лежкости плодов и дальнейшего селекционного использования.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования — 37 образцов яблони (*Malus × domestica* Borkh.) различного генетического и эколого-географического происхождения, в т. ч.:

– 12 сортов зарубежной селекции: Fuji Mimo (Япония), Sirius (Чехия), Smeralda, Gold Pink (Италия), Co-op 17 (США), Gala (Новая Зеландия), Есен, Айнур, Жаркын, Саркыт, Егемен, Максат (Казахстан);

– 9 сортов российской селекции: Луч, Персиковое (Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ)),

Азимут, Памяти Евдокимова, Веста (СКФНЦСВВ, Всероссийский НИИ селекции плодовых культур (ВНИИСПК)), Стасовское, Георгия, Заря Ставрополя (Ставропольская опытная станция по садоводству (СОСС), СКФНЦСВВ), Любимое Дутовой (СКФНЦСВВ, ВНИИСПК, СОСС);

– 16 гибридных форм, полученных в СКФНЦСВВ на основе скрещивания иммунных к парше и высококачественных сортов современной селекции и прошедших предварительный отбор по хозяйственным признакам: 17/1–6–1 (из семьи Кармен × Gemeni), 17/1–6–31, 17/1–6–33, 17/1–6–34, 17/1–6–36, 17/1–6–38, 17/1–6–42, 17/1–6–47, 17/1–6–49, 17/1–6–52 (из семьи Champion × Modi), 17/1–6–55 (Honeycrisp × Fujion), 17/1–6–56, 17/1–6–58 (Liberty × Renuartsiv), 17/1–6–53, 17/1–6–66, 17/1–6–68 (12/1–21–63 × Modi).

Коллекционные насаждения яблони (на подвое М9 по схеме 4×1 м; 2015–2017 гг. посадки) расположены в ЗАО ОПХ «Центральном» г. Краснодара Краснодарского края, который относится к Северо-Кавказскому (6) региону садоводства. Научно-исследовательская работа выполнена в центре коллективного пользования «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур» (ЦКП ИСК ГРСК) в СКФНЦСВВ.

Использованы программы и методики селекции и сортоизучения для плодовых культур, в т. ч. яблони [5, 6]; применены молекулярно-генетические методы исследования [7, 8]. Методом ДНК-анализа, основанным на ПЦР с последующим электрофоретическим анализом продуктов, выявляли генотипы яблони гетерозиготные и гомозиготные по второму аллелю гена *Md-ACS1*, ответственного за длительность сроков хранения плодов яблони. Для экстракции ДНК исследуемых образцов применили модификацию метода СТАВ, основанную на использовании 1 % концентрации поливинилпирролидона в лизирующем буфере. Модификация метода разработана в СКФНЦСВВ для наиболее полной очистки от полифенольных соединений проб ДНК.

Результаты исследования и обсуждение

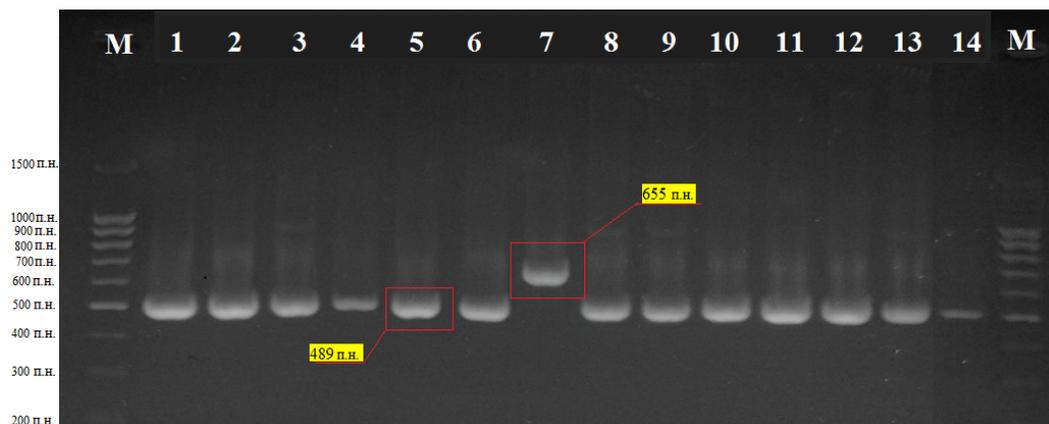
Регион Северного Кавказа относится к основным в стране по производству плодовой продукции. Так, в сельскохозяйственных организациях по Южному федеральному округу (ЮФО) и Северо-Кавказскому федеральному округу (СКФО) плодовые насаждения занимают 49,4 %, по Краснодарскому краю — 18,5 % от общих площадей, валовые сборы плодов и ягод по ЮФО и СКФО составляют 77,4 %, а по Краснодарскому краю — 37,1 % [9]. В промышленном плодоводстве один из критериев-признаков интенсивных технологий производства плодов яблони — высокие товарные качества продукции, в т. ч. стандартность плодов не менее 90 % [10]. Однако, в промышленном производстве необходимо не только получить плоды высокого качества, но и сохранить их коммерчески значимые сортовые характеристики на длительный срок, так как преимущество при реализации имеют сорта с высокой лежкостью. Необходимо генетически обусловленное длительное сохранение полученного урожая

культуры, особенно по зимним и позднезимним сортам, с минимумом потерь количества и качества плодовой продукции. В плодовых хозяйствах отрасли количество специально оборудованных холодильных камер и хранилищ недостаточно; могут иметь место проблемы с поставкой, монтажом, наладкой и эксплуатацией необходимого оборудования, особенно зарубежного производства, достаточно высокой его стоимостью. Кроме того, транспортабельность может значительно снизиться из-за перезревания плодов яблони в процессе хранения. В этих условиях изучение генетики признака имеет большое значение.

Для выделения среди исследуемых 37 образцов селекционно-ценного сортового и гибридного материала яблони, наряду с фенотипированием, использовали методы ДНК-анализа для выявления генотипов, в первую очередь, гомозиготных по аллелю 2 гена *Md-ACS1* (вариант *Md-ACS1–2/2*), а также гетерозиготных (вариант *Md-ACS1–1/2*). Искомые аллельные сочетания обуславливают высокую и повышенную лежкоспособность плодов соответственно; особенно перспективно аллельное сочетание *Md-ACS1–2/2*.

Известно, что подавление биосинтеза этилена в плодах — основной механизм увеличения периода их хранения в контролируемых условиях. В период созревания яблок идет выделение этилена, способствуя перезреванию и разрыхлению мякоти плодов, оказывая негативное влияние на их качественные показатели: товарность, коммерческую и потребительскую привлекательность, лежкость и транспортабельность. В плодовом растении происходит синтез гормона, катализируемого ферментом 1-аминоциклопропан-1-карбоксилат синтазой (ACS), который кодируется геном *Md-ACS1*, в значительной степени определяющим уровень синтеза этилена в плодах в период созревания и хранения, влияющим на длительность периода хранения [4]. Созданы эффективные ДНК-маркеры для гена *Md-ACS1*, что позволяет выявлять различные аллельные сочетания, выделяя наиболее ценные из них по искомому гену для формирования идентифицированной части коллекционного фонда и вовлечения в дальнейшем в селекционный процесс по созданию отечественных сортов яблони с повышенной лежкостью плодов.

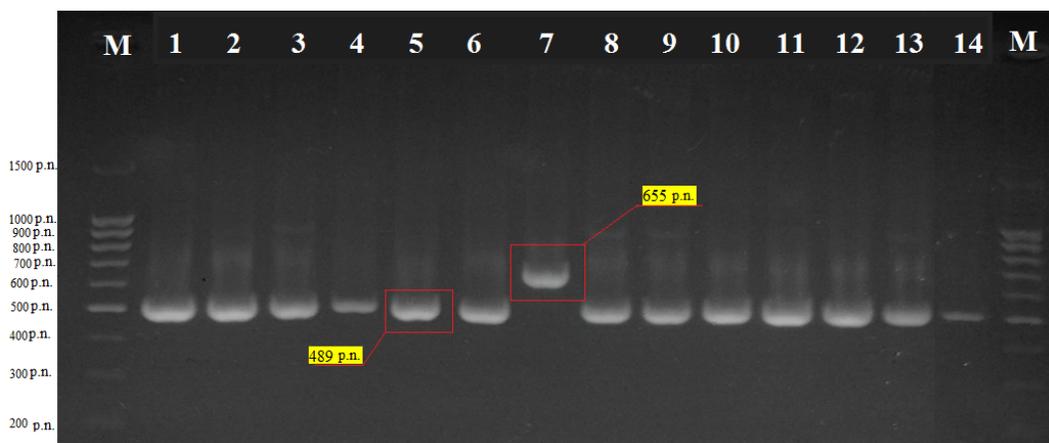
Гомозиготные образцы по аллелю 1 (*Md-ACS1–1/1*) имеют один продукт ПЦР размером 489 п. н. (пар нуклеотидов) (рис.), могут обладать достаточно высоким уровнем синтеза этилена в плодах, что характерно в основном для раннелетних и летних сортов яблони с небольшим сроком хранения и нежелательно для сортов зимнего и позднезимнего сроков созревания. Гомозиготны по аллелю 1 гена *Md-ACS1* по данным исследований 24 образца из 37 анализируемых сортов: Памяти Евдокимова, Веста, Луч, Стасовское, Заря Ставрополя, Есен, Жаркын, Саркыт, Егемен и 15 гибридных форм из 16 изученных, за исключением 17/1–6–47 (из семьи Champion × Modi). Примечательно, что в данную группу наряду с летними и осенними сортами включены и сорта зимнего срока созревания с длительным периодом хранения: Стасовское, Заря Ставрополя и др., что согласуется с полученными результатами других исследователей об обусловленности искомого признака действием нескольких генов [11, 12].



Результаты ПЦР-идентификации аллелей гена *Md ACS1* яблони. Селекционные формы яблони, отобранные по хозяйственным признакам: М – маркер молекулярной массы;

1 – из гибридной семьи Кармен × Gemini; 2–9 – семьи Champion × Modi;
10 – Honeycrisp × Fujion; 11 и 12 – Liberty × Renuartsiv; 13 и 14 – элита 12/1–21–63 × Modi

Источник: сделано авторами



Results of PCR identification of alleles of the *Md ACS1* gene of the apple tree. Breeding forms of apple trees, selected according to agronomic traits: M – molecular weight marker; 1 – from hybrid family Carmen × Gemini; 2–9 – from hybrid family Champion × Modi; 10 – from hybrid family Honeycrisp × Fujion; 11–12 – from hybrid family Liberty × Renuartsiv; 13–14 – from hybrid family Elite 12/1–21–63 × Modi

Source: created by the authors

Наиболее ценные генотипы яблони гомозиготны по аллелю 2 (*Md-ACS1–2/2*), что проявляется в наличии только одного продукта ПЦР размером 655 п.н.; данные сорта и гибриды имеют пониженный уровень синтеза этилена. Установлено, что гомозиготны по аллелю 2 гена *Md-ACS1* сорта: Fuji Mimo, Smeralda, Gala (контроль), Азимут, Персиковое, Георгия и гибридная форма 17/1–6–47 (из семьи

Champion × Modi). Наряду с общеизвестным сортом Gala в качестве контрольного был взят и сорт Азимут, по которому были подтверждены положительные данные, полученные нами ранее. Необходимо отметить, что все сорта в данной группе имеют зимний и позднезимний срок созревания за исключением осеннего сорта Gala, у которого положительное влияние гомозиготы по аллелю 2 (*Md-ACS1-2/2*) по мнению зарубежных исследователей [11] усиливает влияние аллеля 1 по гену *Md-ACO1*.

Гетерозиготность по искомому гену (*Md-ACS1-1/2*), обусловленная наличием двух продуктов реакции размером 489 и 655 п.н., ведет к среднему уровню синтеза этилена в плодах. Согласно полученным результатам ДНК-анализа выявлено, что по гену *Md-ACS1* гетерозиготны 6 образцов — сорта: Айнур, Максат, Любимое Дутовой, Sirius, Gold Pink, Со-ор 17.

Однако, различные аллельные варианты по гену *Md-ACS1* не могут показать все разнообразные проявления фенотипа по таким признакам, как длительность периода хранения плодов и сроки их размягчения [11]. Эти сложные процессы обусловлены действием нескольких генов и некоторые из них еще не установлены [13–15]. Тем не менее результаты сортового генотипирования перспективны для формирования идентифицированного коллекционного фонда и ускорения селекционного процесса.

Заключение

Согласно данным оценки полиморфизма по гену *Md-ACS1* в исследуемой выборке из 37 сортов яблони различного генетического и эколого-географического происхождения выявлены три аллельных варианта гена: *Md-ACS1-1/1*, *Md-ACS1-1/2* и *Md-ACS1-2/2* — с частотой распространения 65, 16 и 19 % соответственно. Среди изученных образцов по результатам ДНК-анализа выделены гомозиготы по аллелю 2 гена *Md-ACS1* у зарубежных (Smeralda, Fuji Mimo) и российских (Персиковое, Георгия, Азимут, гибрид 17/1–6–47 (Champion × Modi)) сортов яблони. Выделенные образцы яблони с наиболее ценным для селекции аллельным сочетанием *Md-ACS1-2/2* имеют зимний или позднезимний срок созревания, длительный срок хранения и могут быть перспективны для использования в селекционных программах по ускоренному созданию коммерчески востребованных новых сортов с длительной лежкостью плодов.

Список литературы

1. Technology Transfer of Plant Biotechnology (1st ed.) / Edit. by P.M. Gresshoff. CRC Press, 1996. P. 111–125. doi: 10.1201/9780203737323
2. Heo S., Kim C., Chung Y.S. High-resolution melting analysis for identification of apple cultivars using simple sequence repeat markers // Plant Biotechnol Rep. 2019. № 13. P. 337–344. doi: 10.1007/s11816-019-00539-y
3. Ульяновская Е.В., Богданович Т.В. Генетические ресурсы для селекционного совершенствования яблони // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2018. № 51 (3). С. 1–14. doi: 10.30679/2219-5335-2018-3-51-1-14

4. Zhu Y., Barrit B.H. *Md-ACS1* and *Md-ACO1* genotyping of apple (*Malus × domestica* Borkh.) breeding parents and suitability for marker-assisted selection // *Tree Genetics and Genomes*. 2008. Vol. 4. P. 555–562. doi: 10.1007/s11295-007-0131-z
5. Программа Северо-Кавказского центра по селекции плодовых, ягодных, цветочно-декоративных культур и винограда на период до 2030 года / Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства РАСХН. Краснодар: Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 2013. 202 с.
6. Современные методология, инструментарий оценки и отбора селекционного материала садовых культур и винограда: монография. Краснодар: Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 2017. 282 с.
7. Murray M.G., Thompson W.F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA // *Nucl. Acids Res.* 1980. Vol. 10. P. 4321–4326. doi: 10.1093/nar/8.19.4321
8. Patocchi A., Walser M., Tartarini S., Brogini G.A.L., Gennari F., Sansavini S., Gessler C. Identification by genome scanning approach (GSA) of a microsatellite tightly associated with the apple scab resistance gene *Vm* // *Genome*. 2005. № 48. P. 630–636. doi: 10.1139/g05-036
9. Егоров Е.А. Научное обеспечение становления, развития плодового и виноградарства Северо-Кавказского региона // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 3. С. 4–7. doi: 10.30850/vrns/2021/3/4-7
10. Егоров Е.А., Шадрин Ж.А., Кочьян Г.А. Методические подходы к биологизации интенсификационных процессов (на примере промышленного плодового) // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2021. № 71 (5). С. 1–22. doi: 10.30679/2219-5335-2021-5-71-1-22
11. Oraguzie N.C., Iwanami H., Soejima J., Hatada T., Hall A. Inheritance of the *Md-ACS1* gene and its relationship to fruit softening in apple (*Malus × domestica* Borkh.) // *Theor Appl Genet*. 2004. № 108. 1526–1533. doi: 10.1007/s00122-003-1574-8
12. Ульяновская Е.В., Супрун И.И. Ускоренное создание генотипов яблони с повышенными показателями адаптивности и качества на основе выявленных закономерностей наследования значимых признаков // Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. Т. 1. С. 47–52.
13. Costa F., Eric W., de Weg V., Stella S. Map position and functional allelic diversity of *Md-Exp7*, a new putative expansin gene associated with fruit softening in apple (*Malus × domestica* Borkh.) and pear (*Pyrus communis*) // *Tree Genetics & Genomes*. 2008. Vol. 4. P. 575–586. doi: 10.1007/s11295-008-0133-5
14. Савельев Н.И., Шамшин И.Н., Кудрявцев А.М. Генетический полиморфизм исходных форм яблони по аллелям генов длительной лежкости и качества плодов // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 3. С. 17–20.
15. Shamshin I.N., Shlyavas A.V., Trifonova A.A., Boris K.V., Kudryavtsev A.M. Ethylene and expansin biosynthesis related genes polymorphism in local apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars from VIR collection of plant genetic resources // *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2018. Vol. 22 (6). P. 660–666. doi: 10.18699/VJ18.408

References

1. Gresshoff P.M. (ed.) *Technology Transfer of Plant Biotechnology*. 1st ed. CRC Press; 1996. doi: 10.1201/9780203737323
2. Heo S, Kim C, Chung YS. High-resolution melting analysis for identification of apple cultivars using simple sequence repeat markers. *Plant Biotechnol Rep*. 2019;13:337–344. doi: 10.1007/s11816-019-00539-y
3. Ulyanovskaya EV, Bogdanovich TV. Genetic resources for breeding improvement of the apple-tree. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2018;(51):1–14. (In Russ.). doi: 10.30679/2219-5335-2018-3-51-1-14
4. Zhu Y, Barrit BH. *Md-ACS1* and *Md-ACO1* genotyping of apple (*Malus × domestica* Borkh.) breeding parents and suitability for marker-assisted selection. *Tree Genetics and Genomes*. 2008;4:555–562. doi: 10.1007/s11295-007-0131-z
5. Alekhina EM, Alibekov TB, Artyukh SN, Balapanov IM, Bogatyreva SV, Bratukhina EV, et al. *Programma Severo-Kavkazskogo tsentra po seleksii plodovykh, yagodnykh, tsvetochno-dekorativnykh kul'tur i vinograda na period do 2030 goda* [The program of the North Caucasian Center for the selection of fruit, berry, flower and ornamental crops and grapes for the period up to 2030]. Krasnodar; 2013. (In Russ.).
6. Egorov EA. (ed.) *Sovremennye metodologiya, instrumentarii otsenki i otbora selektsionnogo materiala sadovykh kul'tur i vinograda* [Modern methodology, tools for assessing and selecting breeding material for horticultural crops and grapes]. Krasnodar; 2017. (In Russ.).

7. Murray MG, Thompson WF. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucl Acids Res.* 1980;8(19):4321–4326. doi: 10.1093/nar/8.19.4321
8. Patocchi A, Walser M, Tartarini S, Broggin GAL, Gennari F, Sansavini S, Gessler C. Identification by genome scanning approach (GSA) of a microsatellite tightly associated with the apple scab resistance gene *Vm*. *Genome.* 2005;48(4):630–636. doi: 10.1139/g05-036
9. Egorov EA. Scientific support for a fruit growing and viticulture establishment and development in the North Caucasus. *Vestnik of the Russian Agricultural Science.* 2021;(3):4–7. (In Russ.). doi: 10.30850/vrsn/2021/3/4-7
10. Egorov EA, Shadrina ZA, Kochyan GA. Methodological approaches towards the biologization of intensification processes (on the example of industrial fruit growing). *Fruit growing and viticulture of South Russia.* 2021;(71):1–22. (In Russ.). doi: 10.30679/2219-5335-2021-5-71-1-22
11. Oraguzie NC, Iwanami H, Soejima J, Harada T, Hall A. Inheritance of the *Md-ACS1* gene and its relationship to fruit softening in apple (*Malus × domestica* Borkh.). *Theoretical and Applied Genetics.* 2004;108:1526–1533. doi: 10.1007/s00122-003-1574-8
12. Ulyanovskaya EV, Suprun II. Accelerated creation of apple genotypes with increased indicators of adaptability and quality based on the revealed patterns of inheritance of significant traits. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo nauchnogo uchrezhdeniya Severo-Kavkazskogo zonal'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva i vinogradarstva Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk.* 2013;1:47–52. (In Russ.).
13. Costa F, Eric W, de Weg V, Stella S. Map position and functional allelic diversity of *Md-Exp7*, a new putative expansin gene associated with fruit softening in apple (*Malus × domestica* Borkh.) and pear (*Pyrus communis*). *Tree Genetics and Genomes.* 2008;4:575–586. doi: 10.1007/s11295-008-0133-5
14. Saveliev NI, Shamshin IN, Kudryavtsev AM. Apple for the alleles of genes of shelf life and quality of fruits. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk.* 2014;(3):17–20. (In Russ.).
15. Shamshin IN, Shlyavav AV, Trifonova AA, Boris KV, Kudryavtsev AM. Ethylene and expansin biosynthesis related genes polymorphism in local apple (*Malus domestica* Borkh.) cultivars from VIR collection of plant genetic resources. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2018;22(6):660–666. doi: 10.18699/VJ18.408

Об авторах:

Ульяновская Елена Владимировна — доктор сельскохозяйственных наук, заведующая лаборатории сортоизучения и селекции садовых культур, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3987-7363 SPIN-код: 5577–5173

Чернуцкая Евгения Анатольевна — аспирант, младший научный сотрудник лаборатории сортоизучения и селекции садовых культур, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: ev.belenko95@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-5140-9891 SPIN-код: 2219–0777

Балапанов Ильнур Маликович — младший научный сотрудник лаборатории сортоизучения и селекции садовых культур, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Российская Федерация, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: i-balapanov@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-0727-3605 SPIN-код: 7352–0780

Степанов Илья Владимирович — младший научный сотрудник селекционно-биотехнологической лаборатории, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: ivstepanof@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6251-300X SPIN-код: 3968–1982

About authors:

Ulyanovskaya Elena Vladimirovna — Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Varietal Study and Selection of Horticultural Crops, North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350901, Russian Federation; e-mail: ulyanovskaya_e@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3987-7363 SPIN: 5577–5173

Chernutskaya Evgenia Anatolyevna — PhD student, Junior Researcher, Laboratory of Varietal Study and Selection of Horticultural Crops, North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350901, Russian Federation; e-mail: ev.belenko95@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-5140-9891 SPIN: 2219–0777

Balapanov Ilnur Malikovich — Junior Researcher, Laboratory of Varietal Study and Selection of Horticultural Crops, North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350901, Russian Federation; e-mail: i-balapanov@rambler.ru

ORCID: 0000-0002-0727-3605 SPIN: 7352–0780

Stepanov Ilya Vladimirovich — Junior Researcher, Laboratory of Selection and Biotechnology, North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st., Krasnodar, Krasnodar Territory, 350901, Russian Federation; e-mail: ivstepanof@gmail.com

ORCID: 0000-0002-6251-300X SPIN: 3968–1982



Защита растений Plant protection

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-19968

EDN: AAZEFG

УДК 632.952:635.21:632.4

Research article / Научная статья

Impact of fungicides on potato pathogens in the Tambov region of the Russian Federation

Marina U. Lyashko , Frances S. Saquee , Simbo Diakite  ,Ebube O. Chukwunyere , Elvira M. Gaisina

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 1042215234@rudn.ru

Abstract. Fungicide application has been reported to effectively manage fungal disease that causes 10 to 80 % of the average annual estimated loss, including management costs to potatoes during the production cycle in Russia. The annual agricultural losses caused by these pathogens are highly significant. A field experiment was conducted for two consecutive years (2022 and 2023), using a potato varietal line and two fungicides (Zimmer and Shirlan) to assess the efficiency of newly introduced and previously used fungicides on potato disease *Phytophthora infestans* (potato blight), *Rhizoctonia solani* (Black scurf), *Streptomyces scabies* (Common scab), and *Fusarium* spp. (Fusarium dry rot). The experiment was arranged in a randomized complete block design with four replicates. Generally, treatment 5 exhibited the highest pathogen severity population and lowest fresh tuber yield of potatoes. Treatments 2 and 4 (Zimmer and Shirlan at 0.4 L/ha) concentrations had the lowest pathogen severity population and highest fresh tuber yield of the crop studied in the experiment. Both treatments 2 and 4 had a statistically similar high tolerance to the disease pressure, contributing to an increase in fresh tuber yield of 10.25 t/ha. Treatment 5, which had the highest pathogen population, exhibited the lowest fresh tuber yield of 9.36 t/ha. This research demonstrated that the fungicides Zimmer and Shirlan significantly lowered the severity and interaction of all potato diseases studied. Therefore, the study confirmed that the application of Zimmer and

© Lyashko M.U., Saquee F.S., Diakite S., Chukwunyere E.O., Gaisina E.M., 2024



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

Shirlan fungicides at four spraying intervals at a concentration rate of 0.4 L/ha within the developmental stages (budding, beginning of flowering, flowering, and end of flowering) effectively reduces disease development, damage caused by these potato diseases, and increases yield.

Keys words: *Phytophthora infestans*, fluazinam, potato tubers, fungicide, haulms

Conflict of interest information. The authors declare that they have no conflict of interest. All chemicals were purchased in free market.

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

Article history: Received: 25 December 2023. Accepted: 19 January 2024.

For citation: Lyashko MU, Saquee FS, Diakite S, Chukwunyerere EO, Gaisina EM. Impact of fungicides on potato pathogens in the Tambov region of the Russian Federation. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):111–121. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-19968

Introduction

Potato belongs to the Solanaceae family. It is grown for its starched edible parts called tubers; it is a valuable food crop cultivated worldwide. The raw potato contains 2 % protein, 17 % carbohydrates (88 % of which are starch), 79 % water, and very little fat. Potatoes also have essential nutrients, including vitamins C, B6, potassium, magnesium, and iron [1–3]. Most potato starch comprises amylopectin, a branched chain glucose polymer, and amylose, a straight chain glucose polymer, in a comparatively constant 3:1 ratio. Russian Federation is the third-largest potato producer in the world, after China and India [4]. However, potato yields in Russia remain low compared to other European countries.

One of the main reasons for the decline in yields in all potato-growing regions of Russia is the massive damage to potato plants due to the pathogens *Phytophthora infestans* (Late blight or Potato blight), *Rhizoctonia solani* (Black scurf and Stem canker), *Streptomyces scabies* (Common scab), and *Fusarium spp.* (Fusarium dry rot) [5–7]. According to the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, potato yield losses from this complex of pests amount to 50 % of the gross yield, which is 1.5 times higher than losses of grain crops [8]. The lack of resistant varieties also promotes the spread of these diseases. In this regard, potato productivity's biological and economic potential still needs to be utilized.

P. infestans affects the vegetative part of plants and leads to a significant decrease in assimilating surface of leaves, which affects the process of formation and tuber development [9]. On leaves and stems, the symptom appears in the form of dark brown, oblong spots. On the affected tubers, slightly depressed, sharply delimited brown spots form, the flesh under which has a rusty-brown color. Infection of tubers

is possible from the earliest stages of their formation until harvesting. In recent years, there have also been cases of pathogen spore formation on the surface of tubers and their re-infection in storage [7, 8]. In field conditions that are under the epiphytotic development of late Blight, yield losses can reach 80.0 % in Belarus [9] and more than 20 % in Russia [6]. The main danger of phytophthora lies in its plasticity, ability to form dormant structures (oospores) that persist for long periods, and the evolution of *P. infestans* strains [10].

R. solani affects tubers, sprouts, stems, stolons, and, less commonly, the roots of adult plants. The disease manifests itself in the form of black scab, deep (pitted) spotting and reticulated necrosis of tubers, rotting of eyes and sprouts, death of stolons and roots, as well as dry rot of the underground part of the stem in the form of brown ulcers of various sizes on “rotten wood” and “white leg” stems [11–13]. In the Russian Federation, *R. solani* on potato plantings recorded 31.99 thousand hectares in 2017 and 26.06 thousand hectares in 2018. *P. infestans* developed on 9.60 thousand hectares in 2017 and 4.16 thousand hectares in 2018¹.

Fusarium dry rot is caused by several species of *Fusarium spp.*, of which *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. solani*, and *F. culmorum* are the most harmful and have broad adaptive features to unfavorable environmental factors [14, 15]. The tubers become darker. During storage, it has a specific lilac smell [15]. Slightly affected potato tubers without visible symptomatic manifestations during planting and storage are dangerous to potato seed production. Such healthy planting material will significantly reduce the predicted yield, and storing it will lead to significant losses. According to experts, annual yield losses from fusarium blight during storage are 15 %, and if temperature and humidity are violated, they range from 25...50 % [13–15]. Unlike other pathogenic species, species of the genus *Fusarium* can accumulate large amounts of mycotoxins (Zearalenone (ZEA), fusarin C.) in potato tubers, which can cause significant harm to human and animal health [15].

Among the bacterial agents, *S. scabies* mainly affects tubers; less often, stolons and roots are the most devastating, causing economic losses to the potato-producing countries worldwide. Brown ulcers of irregular shapes and varying sizes form on the surface of the tubers. The prominent harm from this pathogen is a decrease in the quality of tubers. Tubers affected by scab have an unattractive appearance and lower taste and marketability, as they contain less starch [16].

More than twenty fungicides are currently available on the Russian market. However, Schepers et al. [10] and Kuznetsova et al. [6] indicate that not all fungicides are effective in controlling potato fungal diseases. Therefore, this research examines the effectiveness of different fungicide dosages and the application techniques in controlling Late blight, Black scurf, Common scab, and Fusarium dry rot, as well as sustainable management strategies to mitigate the disease in the Tambov region, Russian Federation (Fig. 1).

¹ Korneeva T. TOP fungal and bacterial diseases of potatoes // GlavAgronom. 2020. Available from: <https://glavagronom.ru/articles/TOP-gribnyh-i-bakteryah-boleznej-kartofelya>

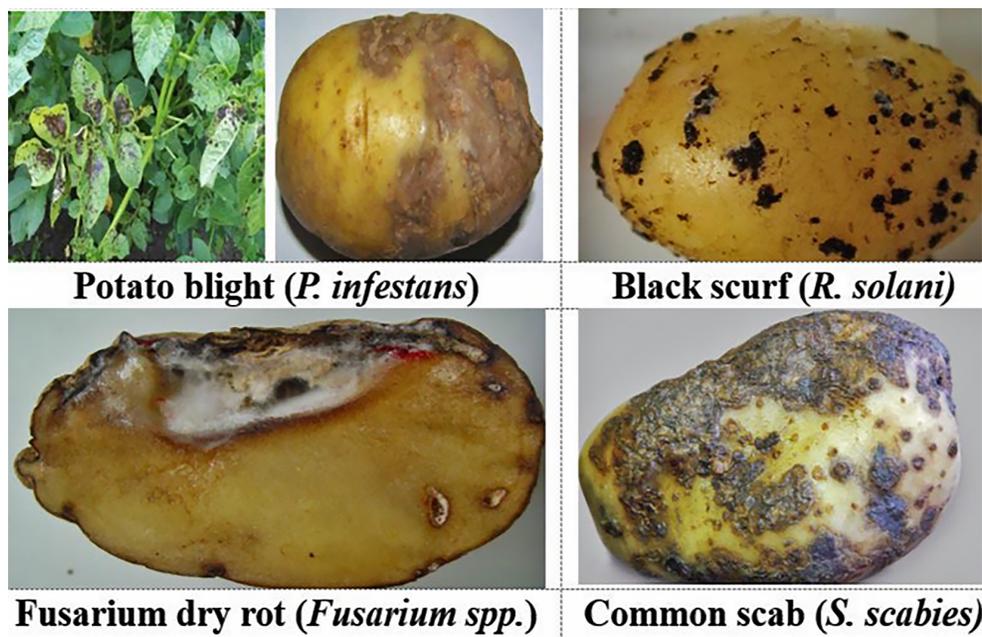


Fig 1. Symptoms of potato plant pathogens

Source: made by authors

Materials and Methods

Description of the site. The experiment was conducted in Michurinsk at the “Ro-shcha” farm of Michurinsk State Agrarian University in the Tambov region (Russian Federation). The experiment was carried out for two years (2022 and 2023). The size of the experimental plots was 50 m², and the soil was a floodplain meadow light loamy with a pH scale ranging from 6.0 to 6.6. The soil had a thick humus horizon of 40 to 45 cm, and the humus content in the arable layer was 4.0 to 4.5 %, with a soil pH of 6.0 to 6.6.

Treatment and experimental design. The study was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. All plots were arranged systematically on the potato variety line. The plot size was 9 m². Each plot had four rows (the middle two are harvestable) with inter- and intra-row spacing of 0.75 and 0.3 m, and every plot contained ten plants per row. The spacing between blocks and plots was 1.5 and 1 m, respectively. The treatment consisted of one potato varietal line and a combination of two types of fungicides (Zummer SC 500 g/L fluazinam and Shirlan SC 500 g/L fluazinam). These fungicides were obtained from registered companies in the country. Treatments included: T1: Zummer, SC (500 g/L fluazinam) 0.3 L/ha (new fungicide); T2: Zummer, SC (500 g/L fluazinam) 0.4 L/ha (new fungicide) T3: Shirlan, SC (500 g/L fluazinam) (standard): 0.3 L/ha; T4: Shirlan, SC (500 g/L fluazinam) (standard): 0.4 L/ha; and T5: Control (untreated) plots employed for comparison. Zummer, SC, is a contact fungicide and an analog of the fungicide Shirlan (both have the same active ingredient, fluazinam). Agronomic practices were carried out, beginning from tillage, plowing to a depth of 20...25 cm, and spring harrowing before cultivation at 12 cm, with no fertilizers applied.

However, a general application of insecticides and herbicides at a consumption rate of (250 g/kg and 0.05 kg/ha) were applied before crop emergence. All treatments were carried out according to the BBCH scale: at the beginning of budding (51), the beginning of flowering (61), flowering (65), and at the end of flowering (69), respectively [17]. Tuber infestation records were determined following the methods generally accepted in phytopathological studies².

Table 1

Experimental design

Trade names	Treatments	Application rate	Active ingredients	Manufacturer
Zimmer	T1	0.3 L/ha	Fluazinam 500 g/L	Keminova A/S company, Denmark
Zimmer	T2	0.4 L/ha	Fluazinam 500 g/L	
Shirlan	T3	0.3 L/ha	Fluazinam 500 g/L	Farmoz PTY Limited Crop Care Australasia PTY LTD
Shirlan	T4	0.4 L/ha	Fluazinam 500 g/L	
Control	T5 untreated	N/A	N/A	N/A

Data collection and analysis

Analysis of disease and yield. Based on the records of haulm infestation in the field, yield losses for each disease were calculated. Tuber quality was assessed one month after storage using the express method (the degree of tuber infestation with phytophthora in%), and tuber marketability was evaluated [5].

Analysis of variance (ANOVA) was used to examine the relevance of disease severity and tuber yield (marketable and total yield). Fisher's protected least significant difference test at a 5 % significance level (LSD) was used to separate the means. All the analyses were done using GenStat statistical software [18].

Yield of fresh Tuber. At maturity, potato tubers were harvested from each plot's three inner rows and then sorted into marketable and unmarketable tubers based on the presence or absence of tuber color, size, and shape deformation. The fresh tuber potato yield weights per treatment were also recorded for analysis.

Results

The ANOVA (general results presented in Tables 2 and 3) detected trivial significant differences between the two trades fungicides used within the two growing potato seasons in this experimental period. In both growing seasons, potato leaf blight (*P. infestans*) was quite pronounced in the control (untreated plots) in early July. Generally, treatment 5 exhibited significantly the highest severity of disease and lowest fresh root yield of potato. At the same time, treatments 2 and 4 at a concentration of 0.4 L/ha of fungicide Fluazinam 500 g/L had the lowest disease severity and highest fresh root yield

² Dolzhenko VI. *Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam insektitsidov, akaritsidov, mollyuskotsidov i rodentitsidov v sel'skom khozyaistve* [Methodological guidelines for registration tests of insecticides, acaricides, molluscicides and rodenticides in agriculture]. St. Petersburg; 2009. (In Russ.).

of the crop, respectively (Table 2). Both treatments 2 and 4 had a statistically similar high tolerance to the disease pressure, contributing to a high fresh root yield of 10.25 t/ha. Treatment 5, which had the highest disease severity, exhibited the lowest fresh root yield of 9.36 t/ha.

Table 2

Percentage Severity of potato leaf blight at different stages and fresh tuber yield

Treatments	Haulm	Harvest	One month after storage	Fresh tuber yield (t/ha)
T1	5.1	3.1	4.2	10.20
T2	2.3	2.0	2.1	10.25
T3	5.7	3.0	4.2	10.15
T4	2.2	2.1	2.1	10.25
T5	20.5	10.3	15.1	9.36
Mean	7.2	4.1	5.5	10.04
LSD (5 %)	0.48*	0.46*	0.61*	0.04*
CV (%)	4.3	7.4	7.2	0.3

Note. CV = coefficient of variation; LSD = least significance difference; * = significant at 5 % LSD.

The effect of different fungicide treatments applied on potato varietal lines shows highly significant differences among pathogens observed, and in comparing treatment five, the control (untreated plots) exhibited significantly the highest severity of disease than all other treatments.

Whereas treatments 2 and 4 at a concentration of 0.4 L/ha of fungicide Fluazinam 500 g/L had the lowest disease severity at harvest and storage (1.0 %) for Fusarium dry rot and Black scurf, the severity was 3.0 % at harvest and storage as well as Common scab (Table 3).

Table 3

The effect of different potato tuber diseases at harvest and storage

Treatments	Harvest			One month after harvest		
	Fusarium dry rot	Common scab	Black scurf	Fusarium dry rot	Common scab	Black scurf
T1	1.1	3.00	3.40	1.2	2.90	3.30
T2	1.0	3.20	3.00	1.0	3.20	3.10
T3	1.1	3.30	3.20	1.3	3.10	3.20
T4	1.0	2.8	3.00	1.1	3.00	3.10
T5	1.3	3.50	3.60	1.3	3.60	3.80
Mean	1.1	3.16	3.24	1.2	3.16	3.30
LSD (5 %)	0.44*	0.46*	0.61*	0.4*	0.45*	0.54*
CV (%)	26.0	9.50	12.30	21.3	9.30	10.60

Note. CV = coefficient of variation; LSD = least significance difference; * = significant at 5 % LSD.

In general, the mean yield advantage of the fungicides sprayed plots has a marketable value for treatment with the Zummer at two application rates: 0.3 L/ha was 57.0 % for (food) and at 0.4 L/ha, was 58.1 % for (food). Shirlan at the same application rates: 0.3 L/ha was 57.6 % for (food), and at the rate of 0.4 L/ha was 57.5 % for (food) and in control: was 55.0 % for (food) (Fig. 2).

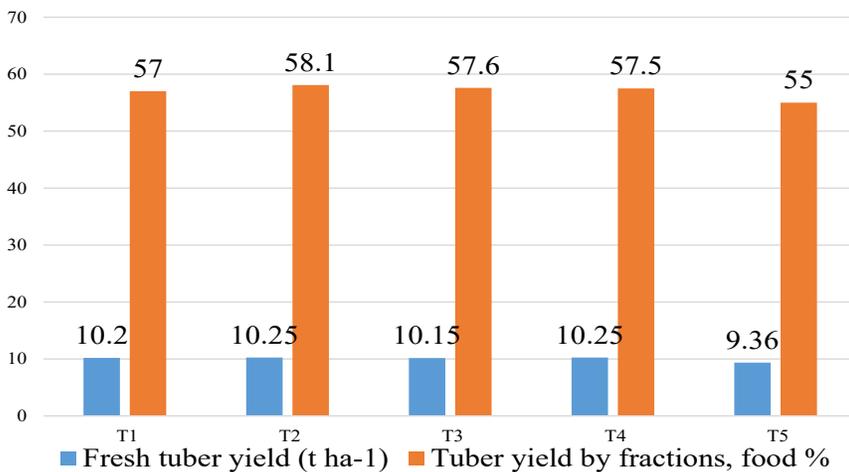


Fig. 2. Fresh tuber yield and tuber yield by fractions, food

Source: made by authors

Discussion

All fungicides applied in the trial substantially reduced foliage and potato tuber infection and increased yield effectively. The Effectiveness of fluazinam at 0.4 L/ha was superior to that of 0.3 L/ha in terms of overall efficacy. These results are in agreement with a previous study that evaluated fluazinam treatment on the pathogenic *P. infestans* population, indicating that Fluazinam was effective at a dose of 0.4 L/ha consisting of 100 % EU_33_A2 genotype [10]. In addition, Mukalazi et al. [19] and Xue et al. [20] also observed that the incidence and severity of Late blight on potato cultivars could significantly reduce the severity of most potato pathogens. The efficacy of this fungicide can be attributed to the fact that Fluazinam suppresses the respiration process by inhibiting energy metabolism in pathogen cells, inhibiting zoospore formation, appressorium formation, and pathogen hyphae growth [10, 21–24]. This fungicide also reduces the production of *F. graminearum* mycotoxin (deoxynivalenol) by disrupting peroxisome formation [23]. After one month's storage, both fungicides showed high efficacy in all amended tubers at the application rate of 0.4 L/ha. Considering the general effectiveness of the two fungicides, Late blight severity was highly reduced and significant, compared to other potato diseases in this study. These results are similar to those of Sedlák et al. [25], in which the application of Altima 500 SC (Fluazinam 500 g/L) at 0.4 L/ha was

more effective against Late blight than Common scab, Black scurf, and Silver scurf. As a result, fungicides must be utilized to control disease in moderately resistant types.

In addition to the effectiveness of the two fungicides studied, findings by Xue et al. agree with our result that to effectively decrease the occurrence of *Fusarium* dry rot of potatoes in storage, a registered chemical synthetic fungicide and post-harvest treatment can be effective [15]. According to Xue et al. (2013) [20], more than 85 % of potatoes should be stored for 3–6 months as a vegetable, seed, and industrial material, and the losses due to disease during storage are significant. Fungus, bacteria, and viruses can cause post-harvest disease. Among these is *Fusarium* spp. infection of potato tubers, which can cause severe dry rot during storage, resulting in not only quality decline but also a reduction in marketable yield.

Also, in reducing common scab potatoes, several effects have been made by [21, 22] to control common scab disease potatoes through seed treatment with chemical fungicides Fluazinam, Mancozeb, and Benzothiazole and all proved to be effective in suppressing the disease. Thus, their findings are in agreement with our result stating that the application of fungicide Fluazinam 500 g/L at a concentration of 0.4 L/ha reduces disease severity at harvest and storage for *Fusarium* dry rot (1.0 %), Black scurf at (3.0 %) as well as Common scab (3.1 %) respectively.

Conclusion

Based on the result of this experiment, the two fungicides used in this experiment were effective in reducing all potato diseases studied in the field and at the storage; these chemicals applied at 0.4 L/ha effectively reduced all disease development and increased yield in all treatment plots as compared to the control plot. In General, the application rates and techniques employed during the vegetative phases, harvesting, and storage of the potato variety line in the Tambov region (2nd soil-climatic zone of Russia) were key. It is, therefore, evidence that the use of fungicides with the active ingredient Fluazinam at four developmental stages of the potato can be effective in the fight against *P. infestans*, on haulm and tubers, and at harvesting and during storage. Based on the qualitative and quantitative characterization of the tuber yield, Zummer and Shirlam fungicides at the rate of 0.4 L/ha had the best advantage over 0.3 L/ha, and the least was evidence at all control plots. Therefore, the selected fungicides can be recommended for incorporation into the package as a significant input for potato disease control and production in the Tambov region of the Russian Federation.

References / Список литературы

1. Burgos G, Zum Felde T, Andre C, Kubow S. The potato and its contribution to the human diet and health. In: Campos H, Ortiz O. (eds.) *The Potato Crop*. Cham: Springer; 2020. p.37–74. doi: 10.1007/978-3-030-28683-5_2
2. Beals A. Potatoes, Nutrition and Health. *Am J Potato Res*. 2019;96:102–110. doi: 10.1007/s12230-018-09705-4
3. Camire ME, Kubow S, Donnelly DJ. Potatoes and human health. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2009;49(10):823–840. doi: 10.1080/10408390903041996
4. FAOSTAT. *Food and Agricultural commodities production in 2013*. Available from: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> [Accessed 31st October 2017].

5. Kuznetsova MA, Rogozhin AN, Demidova VN, Smetanina TI. Efficient protection of potatoes from diseases of various etiology under conditions of the Moscow region. *Agrarian science*. 2019;(3):49–53. (In Russ.). Кузнецова М.А., Рогожин А.Н., Демидова В.Н., Сметанина Т.И. Эффективная защита картофеля от болезней различной этиологии в условиях Московской области // *Аграрная наука*. 2019. № 3. С. 49–53.
6. Kuznetsova MA, Yakusheva OI, Rogozhin AN, Statsyuk NV, Borovsky KV, Demidova VN. Assessment of the risk of developing potato late blight epiphytotics in the territory of the Russian Federation in 2019–2020 using digital technologies. *Achievements of science and technology in Agro-industrial complex*. 2020;34(12):28–32. (In Russ.). doi: 10.24411/0235–2451–2020–11204
Кузнецова М.А., Якушева О.И., Рогожин А.Н., Стацюк Н.В., Боровский К.В., Демидова В.Н. Оценка риска развития эпифитотий фитоптороза картофеля на территории РФ в 2019–2020 гг. с использованием цифровых технологий // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 12. С. 28–32. doi: 10.24411/0235–2451–2020–11204
7. Malyuga AA, Chulikova NS, Ilyin MM, Khalikov SS. Fludioxonil-Based Preparations for Protecting Potatoes from Diseases and Their Effectiveness. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;48(Suppl 1): S74–S83. doi: 10.3103/S1068367422070138
8. Malyuga AA, Chulikova NS, Khalikov SS. Efficiency of Innovative Preparations on the Basis of Tebuconazole, Tiram and Carbendasim against Potato Diseases. *Agrohimiâ*. 2020;(7):57–67. (In Russ.). doi: 10.31857/S000218812007008X
Малюга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С. Эффективность инновационных препаратов на основе тебуконазола, тирама и карбендазима против болезней картофеля // *Агрохимия*. 2020. № 7. С. 57–67. doi: 10.31857/S000218812007008X
9. Khalaeva VI, Volchkevich IG, Sereda GM, Konopatskaya MV. Effectiveness of fungicides to protect potatoes against late blight. *Plant Protection*. 2020;(44):115–123. (In Russ.).
Халаева В.И., Волчkevич И.Г., Серeda Г.М., Конопацкая М.В. Эффективность фунгицидов для защиты картофеля от фитоптороза // *Защита растений*. 2020. № 44. С. 115–123.
10. Schepers HTAM, Kessel GJT, Lucca F, Förch MG, van den Bosch GBM, Topper CG, et al. Reduced efficacy of fluazinam against *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *European journal of plant pathology*. 2018;(151):947–960. doi: 10.1007/s10658–018–1430-y
11. Zrenner R, Genzel F, Verwaaijen B, Wibberg D, Grosch R. Necrotrophic lifestyle of *Rhizoctonia solani* AG3-PT during interaction with its host plant potato as revealed by transcriptome analysis. *Scientific reports*. 2020;10(1):12574. doi: 10.1038/s41598–020–68728–2
12. Yang S, Min F, Wang L, Wei Q, Wang W, Gu X, et al. First Report of Potato Stem Canker Caused by *Rhizoctonia solani* AG-2–IIIB in Heilongjiang Province, China. *Plant Disease*. 2020;104(12):3253. doi: 10.1094/PDIS-05–20–1053-PDN
13. Prikhodko ES, Khokhlov VP, Bibik TS, Rossinskaya TM, Selitskaya OV, Smirnov AN. Influence of Weather Conditions on the Development of Pathocomplex *Alternaria — Fusarium* in Potato Crops. *Achievements of science and technology in Agro-industrial complex*. 2019;33(1):14–22. (In Russ.). doi: 10.24411/0235–2451–2019–10104
Приходько Е.С., Хохлов В.П., Бибик Т.С., Россинская Т.М., Селицкая О.В., Смирнов А.Н. Влияние метеоусловий на развитие патоконплекса *Alternaria — Fusarium* и урожайность в посадках картофеля // *Достижение науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 1. С. 14–22. doi: 10.24411/0235–2451–2019–10104
14. Tiwari RK, Kumar R, Sharma S, Sagar V, Aggarwal R, Naga KC, et al. Potato dry rot disease: current status, pathogenomics and management. *3 Biotech*. 2020;10(11):503. doi: 10.1007/s13205–020–02496–8
15. Xue H, Liu Q, Yang Z. Pathogenicity, Mycotoxin Production, and Control of Potato Dry Rot Caused by *Fusarium* spp.: A Review. *Journal of Fungi*. 2023;9(8):843. doi: 10.3390/jof9080843
16. Ismail S, Jiang B, Nasimi Z, Inam-ul-Haq M, Yamamoto N, Danso Ofori A, et al. Investigation of *Streptomyces scabies* Causing Potato Scab by Various Detection Techniques, Its Pathogenicity and Determination of Host-Disease Resistance in Potato Germplasm. *Pathogens*. 2020;9(9):760. doi: 10.3390/pathogens9090760
17. Meier U. (ed.). *Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous plants*. 2nd ed. Braunschweig: Federal Biological Research Center for Agriculture and Forestry; 2001.
18. Payne R, Murray D, Baird D. *The guide to the genstat command language (release 19)*. Hertfordshire, UK: VSN International, Hemel Hempsted; 2017.
19. Mukalazi J, Adipala E, Sengooba T, Hakiza JJ, Olanya M, Kidanemariam HM. Metalaxyl resistance, mating type and pathogenicity of *Phytophthora infestans* in Uganda. *Crop Protection*. 2001;20(5):379–388. doi:10.1016/S0261–2194(00)00145–9
20. Xue H, Bi Y, Wei J, Tang Y, Zhao Y, Wang Y. New method for the simultaneous analysis of types A and B trichothecenes by ultrahigh-performance liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry in potato tubers inoculated with *Fusarium sulphureum*. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2013;61(39):9333–9338. doi: 10.1021/jf402997t
21. Al-Mughrabi KI. Biological control of *Fusarium* dry rot and other potato tuber diseases using *Pseudomonas fluorescens* and *Enterobacter cloacae*. *Biological Control*. 2010;53(3):280–284. doi: 10.1016/j.biocontrol.2010.01.010

22. Santos-Cervantes ME, Felix-Gastelum R, Herrera-Rodríguez G, Espinoza-Mancillas MG, Mora-Romero AG, Leyva-López NE. Characterization, pathogenicity and chemical control of *Streptomyces acidiscabies* associated to potato common scab. *American Journal of Potato Research*. 2017;94:14–25. doi: 10.1007/s12230-016-9541-5

23. Wu L, Wu Z, Zhao F, Hahn M, Zhou M, Hou Y. Activity and cell toxicology of fluazinam on *Fusarium graminearum*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2022;188:105253. doi: 10.1016/j.pestbp.2022.105253

24. Matheron ME, Porchas M. Impact of Azoxystrobin, Dimethomorph, Fluazinam, Fosetyl-Al, and Metalaxyl on Growth, Sporulation, and Zoospore Cyst Germination of Three *Phytophthora* spp. *Plant disease*. 2000;84(4):454–458. doi: 10.1094/PDIS.2000.84.4.454

25. Sedlák P, Sedláková V, Doležal P, Baštová P, Vašek J, Hausvater E. Foliar application of fungicides registered against late blight influences main potato tuber diseases and key quantitative characteristics of tubers. *Potato Research*. 2022;65(1):171–191. doi: 10.1007/s11540-021-09515-y

About authors:

Lyashko Marina Ustimovna — Candidate of Biological Sciences, Assistant professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: lyashko-mu@pfur.ru

ORCID: 0000-0002-8240-6375

Saquee Frances Sia — PhD student (Plant protection), Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: fransia662@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7653-6942

Scopus ID: 57956397600

Diakite Simbo — PhD student (Plant protection), Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1042215234@pfur.ru

ORCID: 0000-0003-1462-1329

Scopus ID: 57605101300

Chukwunyere Ebube Oliver — PhD student (Plant protection), Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: chukwunyere.ebube@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-5813-4293

Gaisina Elvira Marsova — Master student, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: gaisina.ella@gmail.com

Влияние фунгицидов на развитие болезней картофеля в Тамбовской области Российской Федерации

М.У. Ляшко , Ф.С. Саки , С. Диаките  ✉,

Э.О. Чуквуньере , Э.М. Гайсина

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

✉ 1042215234@rudn.ru

Аннотация. Применение фунгицидов позволяет эффективно бороться с грибными заболеваниями картофеля, на долю которых в России ежегодно приходится от 10 до 80 % всех потерь. На протяжении всего производственного цикла патогены наносят весьма значительный ущерб сельскохозяйственной культуре. Полевые исследования по изучению эффективности фунгицидов Зуммер (500 г/л флуазинам) и Ширлан (500 г/л флуазинам) в отношении патогенов картофеля *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani*, *Streptomyces scabies* и *Fusarium* spp. проводили в 2022–2023 гг. Эксперимент организовали в виде рандомизированных полных блоков с четырьмя повторениями. В варианте 5 наблюдали самое сильное повреждение растений картофеля грибными болезнями и получили самый низкий урожай свежих клуб-

ней — 9,36 т/га. Максимальный урожай клубней отмечен в вариантах 2 и 4 при использовании фунгицидов Зуммер и Ширлан в концентрации 0,4 л/га, где повреждение патогенами было наименьшим. В вариантах 2 и 4 наблюдали статистически одинаковую высокую устойчивость к повреждению грибными болезнями, что способствовало увеличению урожая свежих клубней до 10,25 т/га. Результаты исследования показали, что фунгициды Зуммер и Ширлан значительно снижают степень поражения всех изученных болезней картофеля. Таким образом, четырехкратное опрыскивание фунгицидами Зуммер и Ширлан в концентрации 0,4 л/га на стадиях развития картофеля (бутонизация, начало цветения, цветение и конец цветения) эффективно снижает развитие болезней, повреждение растений и повышает урожайность картофеля.

Ключевые слова: *Phytophthora infestans*, флуазинам, клубни картофеля, фунгицид, ботва

Заявление о конфликте интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Все препараты приобретались на рынке.

Финансирование. Благодарности. Публикация подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № ФССФ-2023–0015).

История статьи: поступила в редакцию 25 декабря 2023 г., принята к публикации 19 января 2024 г.

Для цитирования: *Lyashko M.U., Saquee F.S., Diakite S., Chukwunyere E.O., Gaisina E.M.* Impact of fungicides on potato pathogens in the Tambov region of the Russian Federation // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С.111–121. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-19968

Об авторах:

Ляшко Марина Устимовна — кандидат биологических наук, доцент, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: lyashko-mu@pfur.ru
ORCID: 0000–0002–8240–6375

Саке Франсес Сиа — аспирант по защите растений, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: fransia662@gmail.com
ORCID: 0000–0001–7653–6942 Scopus ID: 57956397600

Диаките Симбо — аспирант по защите растений, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: 1042215234@pfur.ru
ORCID: 0000–0003–1462–1329 Scopus ID: 57605101300

Чуквуньере Эбубе Оливер — аспирант по защите растений, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: chukwunyere.ebube@yahoo.com
ORCID: 0000–0002–5813–4293

Гайсина Эльвира Марсовна — магистрант, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: gaisina.ella@gmail.com



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-122-127

EDN: AGBXEW

УДК 632.3.01/08:632.4.01/08

Научная статья / Research article

Адаптация технологии защиты растений с учетом грибо-бактериальных ассоциаций

В.А. Платонов¹ , Е.М. Чудинова¹  , С.Н. Еланский^{1,2} ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация chudinova_em@pfur.ru

Аннотация. Поражение растений часто вызывается комплексами микроорганизмов, которые могут включать как виды грибов, так и бактерий. В некоторых случаях наблюдаются симбиотические отношения грибов с бактериями, что вносит существенный вклад в развитие патогенеза. Проанализирован фитопатогенный потенциал бактерий, находящихся в тесной ассоциации с грибами. Для изучения отбирали культуры грибов, не имевшие видимых (в т.ч. при микроскопировании) симптомов поражения бактериями. Методом ПЦР с праймерами на бактериальные митохондриальные гены с последующим секвенированием ампликонов в таких культурах грибов установили присутствие бактерий. Анализ данных секвенирования показал, что среди ассоциированных с грибами бактерий присутствуют виды, родственные известным фитопатогенным бактериям, вызывающим заболевания культурных растений. Полученные результаты показывают необходимость корректировки мероприятий по защите растений. Большинство химических фунгицидов неэффективны в отношении бактерий. В схемы защиты следует включать биологические, биорациональные и химические препараты, которые могут одновременно контролировать развитие грибов и бактерий. Севообороты следует проектировать таким образом, чтобы избежать чередования культур, восприимчивых к одним и тем же бактериям. Также важным элементом защиты растений является удаление или уничтожение растительных остатков.

Ключевые слова: фитопатогены, фитопатология, бактериальные болезни растений, грибо-бактериальные поражения, симбиоз грибов и бактерий

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

Участие авторов: В.А. Платонов — сбор и обработка данных, поддержание коллекции; С.Н. Еланский — анализ полученных данных, написание текста; Е.М. Чудинова — проведение экспериментов, концепция и дизайн исследования, написание текста.

Финансирование. Благодарности. Работа поддержана Российским научным фондом (грант 23–26–00069).

История статьи: поступила в редакцию 3 декабря 2023 г., принята к публикации 28 декабря 2023 г.

© Платонов В.А., Чудинова Е.М., Еланский С.Н., 2024



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

Для цитирования: Платонов В.А., Чудинова Е.М., Еланский С.Н. Адаптация технологии защиты растений с учетом грибо-бактериальных ассоциаций // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 122–127. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-122-127

Adaptation of plant protection technology considering fungal-bacterial associations

Vladislav A. Platonov¹ , Elena M. Chudinova¹  , Sergey N. Elansky^{1,2} 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

 chudinova_em@pfur.ru

Abstract. Plant infections are often caused by complexes of microorganisms that may include both fungal and bacterial species. In some cases, a symbiotic relationship between fungi and bacteria is observed, which makes a significant contribution to the development of pathogenesis. The work analyzes the phytopathogenic potential of bacteria associated with fungi. Fungal cultures that did not have visible (including microscopy) symptoms of bacterial damage were selected for study. Using PCR with primers for bacterial mitochondrial genes followed by sequencing of amplicons in such fungal cultures, the presence of bacteria was established. Analysis of sequencing data showed that among the bacteria associated with fungi there were species related to known phytopathogenic bacteria that cause diseases of crops. The results obtained show the need to adjust plant protection measures. Most chemical fungicides are ineffective against bacteria. Protection schemes should include biological, biorational and chemical agents that can simultaneously control the development of fungi and bacteria. Crop rotations should be designed to avoid alternating crops susceptible to the same bacteria. Another important element of plant protection is the removal or destruction of plant residues.

Key words: phytopathogens, phytopathology, bacterial plant diseases, fungal-bacterial interactions, fungal-bacterial endosymbiosis

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Author Contributions: V.A. Platonov — data collection and processing, collection maintenance; S.N. Elansky — data analysis, writing the paper; E.M. Chudinova — conducting experiments, experiment design planning, writing the paper.

Acknowledgments. The research was funded by the Russian Science Foundation (grant no. 23–26–00069).

Article history: Received: 3 December 2023. Accepted: 28 December 2023.

For citation: Platonov VA, Chudinova EM, Elansky SN. Adaptation of plant protection technology considering fungal-bacterial associations. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):122–127. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-122-127

Введение

По данным ООН, ежегодные мировые потери потенциального урожая всех сельскохозяйственных культур от вредителей и болезней составляют около 23 % валового сбора. Очень часто в пораженных частях растений находится целый комплекс патогенных микроорганизмов. Иногда трудно определить, какой из ми-

кроорганизмов является первопричиной поражения растения. В некоторых случаях возможен симбиоз грибов с бактериями, способствующий более эффективному поражению растения. Самый известный пример такого взаимодействия описан в статье Partida-Martinez и Hertweck [1]. Бактерии *Burkholderia rhizoxinica* — эндосимбионты гриба *Rhizopus microsporus* — способны выделять токсин ризоксин, нарушающий нормальное функционирование клеток растений риса. Снижение иммунитета растений риса позволяет грибу *R. microsporus* внедриться в ткани растений. Штаммы грибов *R. microsporus*, лишённые эндобионных бактерий *B. rhizoxinica*, не способны поражать растения риса. Некоторые бактерии могут стимулировать образование хламидоспор, толстая оболочка которых позволяет пережить пересыхание и температурные колебания. В лабораторных условиях *R. solanacearum* вызвала хламидообразование у 34 видов мицелиальных грибов из разных таксонов. Более того, было показано, что *R. solanacearum* проникала внутрь хламидоспоры [2]. По-видимому, бактерии могут переживать суровые условия окружающей среды в хламидоспорах. Эндобионные бактерии широко распространены среди представителей царства грибов. Группа ученых из США, Бразилии и Швейцарии протестировала около 700 коллекционных штаммов грибов, принадлежащих разным таксономическим группам. В большинстве культур грибов были обнаружены бактерии, в т. ч. в тех культурах, которые хранились в коллекции несколько лет [3]. Сложные симбиотические и патогенные отношения между растениями, грибами и бактериями к настоящему времени плохо изучены, однако их необходимо учитывать при разработке мероприятий по защите растений.

Цель исследования — изучение бактерий, ассоциированных с гифами грибов, выделенных с растений семейства Пасленовые (*Solanaceae*), а также оценка фитопатологического потенциала бактериального компонента.

Материалы и методы исследования

В работе использовали штаммы грибов из коллекции чистых культур агробиотехнологического департамента АТИ РУДН. Все исследуемые штаммы не имели видимых симптомов загрязнения другими микроорганизмами, в т. ч. бактериями. Грибы инкубировали на картофельно-глюкозном агаре с добавлением пенициллина (бензилпенициллина натриевая соль, 1 млн ед./л). Для выделения ДНК мицелий грибов выращивали на жидкой гороховой среде. ДНК выделяли как описано в [4], после чего проводили ПЦР-реакцию по бактериальным праймерам к участку ДНК 16S рибосомной РНК (27c/519r-ТТb) [5]. ПЦР-продукты разделяли с помощью электрофореза в агарозном геле и визуализировали наличие ПЦР-продукта на транс-иллюминаторе. В случае, если на фореze была видна 1 четкая полоса, ПЦР-продукт вырезали из геля, очищали и секвенировали. Для очистки ДНК использовали набор Cleanup Mini Kit (Евроген, Россия). Для определения таксономической принадлежности анализируемых бактерий полученную последовательность сравнивали с последовательностями, депонированными в базе данных

Genbank NCBI с помощью программы Blast. При необходимости использовали филогенетические построения с помощью программы Mega 10.

Результаты исследования и обсуждение

Наличие бактерий удалось достоверно выявить в 28 штаммах грибов из видов *Ceratobasidium* sp., *Cladosporium cladosporioides*, *Ilyonectria crassa*, *Fusarium avenaceum*, *F. equiseti*, *F. graminearum*, *F. merismoides*, *F. merckxianum*, *F. oxysporum*, *F. torulosum*, *Orbilia oligospora*, *Plectoshaerella cucumerina*, *Pyrenochaeta* sp., *Rhizoctonia solani*, выделенных из растений картофеля и томата. Эти бактерии принадлежали к следующим таксономическим единицам: *Achromobacter* sp., *Acinetobacter* sp., *Clostridium* sp., *Delftia* sp., *Flavobacterium* sp., *Herbaspirillum* sp., *Klebsiella* sp., *Kosakonia* sp., *Lelliottia* sp., *Luteolibacter* sp., *Pantoea* sp., *Pseudomonas* sp., *Rahnella* sp., *Serratia* sp., *Stenotrophomonas* sp.

Согласно литературным данным, некоторые из этих родов бактерий могут быть патогенными для растений. На роль патогена картофеля претендует бактерия *Lelliottia* sp. {OR462719} (здесь и далее в фигурных скобках приведены номера депонированных в базе Genbank NCBI последовательностей), присутствие которой обнаружено в *Fusarium oxysporum*, выделенным из клубня картофеля в Московской области. Штамм PC3 *Lelliottia amnigena* {OK447935} был найден на клубнях картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с мацерированной мякотью и явными признаками бактериального поражения в окрестностях города Ланьчжоу (Китай) [6]. Другой вид патогенной *Lelliottia* обнаружен на растении из семейства колокольчиковых *Codonopsis pilosula* в Китае [7]. В штамме *Fusarium oxysporum*, выделенном из клубня картофеля, выращенного в Уганде, мы обнаружили бактерии, относящиеся к роду *Kosakonia* {OL762470}. Сходная по сиквенсу *Kosakonia cowanii* {MN327620} поражает листья сои (*Glycine max*) [8]. Известны штаммы *K. cowanii*, вызывающие увядание растения из семейства губоцветных *Pogostemon cablin* [9], бактериальный вилт у могоара (*Setaria italica*) {ON125560} [10]. Патогенность могут проявлять и бактерии, относящиеся к роду *Pantoea*, которые также были идентифицированы в культурах грибов рода *Fusarium* из нашей коллекции {OR462708, OR460188}. Согласно литературным данным, *Pantoea agglomerans* {HM854282} может поражать проростки риса (*Oryza sativa*) [11], являться причиной загнивания лука (*Allium cepa*) [12], вызывать пятнистость листьев у китайского таро (*Alocasia cucullata*) [13]. Штамм HXJ {HM016799} вызывает потемнение и преждевременное опадение плодов у грецкого ореха (*Juglans regia*) [14], штамм PGHL10 {EF050809} вызывает пятнистость на листьях кукурузы (*Zea mays*) [15]. *P. agglomerans* pv. *gypsophilae* стимулировала появление галлов у *Gypsophila paniculata*, *P. agglomerans* pv. *betae* поражает свеклу (*Beta vulgaris*), при этом патогенность этих бактерий обусловлена наличием плазмиды [16]. Одна из выявленных нами бактерий, относящаяся к таксону *Pseudomonas* {OR462691}, родственна штаммам *Pseudomonas oryzihabitans*, поражающим рис (*Oryza sativa*) [17], дыню (*Cucumis melo*) {MW187499} [18] и грецкий орех (*Juglans regia*) {OR195734} [19].

Таким образом с грибами, выделенными с растений семейства Пасленовые, ассоциированы бактерии, которые могут быть патогенными не только для растений этого семейства, но и для широкого круга других растений. Тесная ассоциация грибов с бактериями, способность к совместному развитию патогенеза должны учитываться при разработке систем защиты растений. Бактерии более уязвимы, хуже переносят пересыхание, колебания температуры, чем грибы; однако способность бактерий проникать в мицелий или споры грибов делает бактериальные инфекции более опасными. Большинство химических фунгицидов неэффективны против бактерий. Для борьбы с бактериальными поражениями используют препараты биологического происхождения на основе *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis*, метаболиты *Streptomyces* spp. (макролидный тилозиновый комплекс, фитобактериомицин, касугамицин), также применяют коллоидное серебро и препараты, содержащие йод¹. Некоторые препараты контролируют развитие грибов и бактерий одновременно. Именно этим препаратам следует отдавать предпочтение в защите растений от грибо-бактериальных инфекций. Также эффективным способом борьбы с болезнями является правильная организация севооборотов, однако в связи с тем, что грибы могут быть носителями бактерий, патогенных для различных растений, следует очень тщательно подходить к планированию чередования культур. В технологии защиты от грибо-бактериальными болезнями, несомненно, необходимы мероприятия по своевременному удалению или уничтожению растительных остатков.

Заключение

Многие грибы тесно связаны с бактериями. Бактерии могут распространяться и переживать неблагоприятные условия с помощью грибов. Патогенность грибов может быть обусловлена бактериальным компонентом, в связи с чем фунгициды могут не оказать должного защитного действия.

Для борьбы с грибо-бактериальными инфекциями в растениеводстве следует тщательно конструировать севообороты, включать в систему защиты биологические и химические препараты, контролирующие развитие как грибов, так и бактерий, удалять или уничтожать растительные остатки.

Список литературы

1. Partida-Martinez L.P., Hertweck C. Pathogenic fungus harbours endosymbiotic bacteria for toxin production // Nature. 2005. Vol. 437. P. 884–888. doi: 10.1038/nature03997
2. Spraker J.E., Sanchez L.M., Lowe T.M., Dorrestein P.C., Keller N.P. *Ralstonia solanacearum* lipopeptide induces chlamydospore development in fungi and facilitates bacterial entry into fungal tissues // ISME J. 2016. Vol. 10. P. 2317–2330. doi: 10.1038/ismej.2016.32
3. Robinson A.J., House G.L., Morales D.P., Kelliher J.M., Gallegos-Graves V., LeBrun E.S., Davenport K.W., Palmieri F., Lohberger A., Bregnard D., Estoppey A., Buffi M., Paul C., Junier T., Hervé V., Cailleau G., Lupini S., Nguyen H.N., Zheng A.O., Gimenes L.J., Bindschedler S., Rodrigues D.F., Werner J.H., Young J.D., Junier P., Chain P.S.G. Widespread bacterial diversity within the bacteriome of fungi // Communications biology. 2021. Vol. 4(1). P. 1168. doi: 10.1038/s42003-021-02693-y

¹ Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2023.

4. Elansky S.N., Chudinova E.M., Elansky A.S., Kah M.O., Sandzhieva D.A., Mukabenova B.A., Dedov A.G. Microorganisms in spent water-miscible metalworking fluids as a resource of strains for their disposal // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 350. № 131438. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131438
5. Lane D.J. 16S/23S rRNA sequencing / In: Stackebrandt E., Goodfellow M. (Eds.), *Nucleic acid techniques in bacterial systematics* / John Wiley and Sons, New York, 1991. P. 115–175.
6. Osei R., Yang C., Cui L., Ma T., Li Z., Boamah S. Isolation, identification, and pathogenicity of *Lelliottia amnigena* causing soft rot of potato tuber in China // *Microb Pathog*. 2022. Vol. 164. № 105441. doi: 10.1016/j.micpath.2022.105441
7. Zhao X., Tian Y., Yue L., Liu Y., Yan Y., Zhou Q., Wang Y., Zhang Y., Wan R. Identification and characterization of pathogenicity of *Lelliottia nimipressuralis* causing soft rot of *Codonopsis pilosula* (dangshen) roots in China // *Plant Pathol*. 2022. Vol. 71(8). P. 1801–1811. doi: 10.1111/ppa.13606
8. Krawczyk K., Borodynko-Filas N. *Kosakonia cowanii* as the New Bacterial Pathogen Affecting Soybean (*Glycine max* Willd.) // *Eur J Plant Pathol*. 2020. Vol. 157. P. 173–183. doi: 10.1007/s10658-020-01998-8
9. Zhang Y., Wang B., Li Q., Huang D., Zhang Y., Li G. He H. Isolation and Complete Genome Sequence Analysis of *Kosakonia cowanii* Pa82, a Novel Pathogen Causing Bacterial Wilt on Patchouli // *Front. Microbiol*. 2022. Vol. 12. № 818228. doi: 10.3389/fmicb.2021.818228
10. Han Y., Gao X., Huang G., Chang Y., Han H., Zhu J., Zhang B. *Kosakonia cowanii*, a new bacterial pathogen affecting foxtail millet (*Setaria italica*) in China // *Microbial Pathog*. 2023. Vol. 181. № 106201. doi: 10.1016/j.micpath.2023.106201
11. Lee H.B., Hong J.P., Kim S.B. First report of leaf blight caused by *Pantoea agglomerans* on rice in Korea // *Plant Dis*. 2010. Vol. 94(11). P. 1372. doi: 10.1094/PDIS-05-10-0374
12. Dutta B., Barman A.K., Srinivasan R., Avci U., Ullman D.E., Langston D.B., and Gitaitis R.D. Transmission of *Pantoea ananatis* and *P. agglomerans*, causal agents of center rot of onion (*Allium cepa*), by onion thrips (*Thrips tabaci*) through feces // *Phytopathology*. 2014. Vol. 104. P. 812–819. doi: 10.1094/phyto-07-13-0199-r
13. Romeiro R.S., Macagnan D., Mendonça H.L., Rodrigues Neto J. Bacterial spot of Chinese taro (*Alocasia cucullata*) in Brazil induced by *Pantoea agglomerans* // *Plant Pathol*. 2007. Vol. 56. P. 1038. doi: 10.1111/j.1365-3059.2007.01631
14. Yang K.Q., Qu W.W., Liu X., Liu H.X., Hou L.Q. First report of *Pantoea agglomerans* causing brown apical necrosis of walnut in China // *Plant Dis*. 2011. Vol. 95(6). P. 773. doi: 10.1094/pdis-01-11-0060
15. Morales-Valenzuela G., Silva-Rojas H.V., Ochoa-Martinez D., Valadez-Moctezuma E., Alarcon-Zuniga B., Zelaya-Molina L.X., Cordova-Tellez L., Mendoza-Onofre L., Vaquera-Huerta H., Carballo-Carballo A., Farfan-Gomez A., Avila-Quezada G. First report of *Pantoea agglomerans* causing leaf blight and vascular wilt in maize and sorghum in Mexico // *Plant Dis*. 2007. Vol. 91(10). P. 1365. doi: 10.1094/PDIS-91-10-1365A
16. Manulis S. and Barash I. *Pantoea agglomerans* pvs. gypsophilae and betae, recently evolved pathogens? // *Molecular Plant Pathology*. 2003. Vol. 4. P. 307–314. doi: 10.1046/j.1364-3703.2003.00178.x
17. Hou Y., Zhang Y., Yu L., Ding X., Liu L., Wang L., Huang S. First Report of *Pseudomonas oryzae* causing rice panicle blight and grain discoloration in China // *Plant Dis*. 2020. Vol. 104. № 3055. doi: 10.1094/PDIS-10-19-2186-PDN
18. Li J., Zhou G., Wang T., Lin T., Wang Y., Zhu P., Xu L., Ma G. First report of *Pseudomonas oryzae* causing stem and leaf rot on muskmelon in China // *Plant Dis*. 2021. Vol. 105(9). P. 2713. doi: 10.1094/PDIS-01-21-0100-PDN
19. Huai T., Zhao J., Zhang X., He H., Zhu X., Ma H., Zhang L., Zhao P., Liu X., Si D. First Report of *Pseudomonas oryzae* Causing Walnut Leaf Spot Disease in China // *Plant Dis*. 2023. doi: 10.1094/PDIS-08-23-1634-PDN

Об авторах:

Платонов Владислав Андреевич — аспирант агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: vlad97p@gmail.com

ORCID: 0009-0008-9719-5815

Чудинова Елена Михайловна — кандидат биологических наук, доцент агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: chudinova_em@pfur.ru

ORCID: 0000-0003-3157-494X SPIN: 6688–8116

Еланский Сергей Николаевич — доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Евразийского центра по продовольственной безопасности, МГУ им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; профессор агробиотехнологического департамента аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: elanskiy_sn@pfur.ru

ORCID: 0000-0003-1697-1576 SPIN: 6827–8026



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-128-138

EDN: AHYHPT

УДК 632.7.04/.08: 632.951: 632.95.02

Научная статья / Research article

Оценка биологической эффективности инсектицидов в контроле численности грушевой медяницы

М.Е. Подгорная , Н.А. Диденко ✉, С.В. Прах , А.В. Васильченко 

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», г. Краснодар, Российская Федерация

✉ didenko-n.a@mail.ru

Аннотация. *Psylla pyri* L., или грушевая медяница, — доминирующий вредитель груши, ущерб от вредоносности которой может достигать 70...90 %. Это поливольтинный вредитель, за один вегетационный сезон на юге России может развиваться до 5–7 поколений, накладывающихся одно на другое. Фитофага трудно контролировать из-за развития устойчивости к применяемым инсектицидам, присутствия одновременно всех фаз развития в летний период, поэтому целью исследований стало выявление наиболее эффективных инсектицидов различного механизма действия, сдерживающих численность и развитие нимф *P. pyri* L. В задачи исследования входило уточнение биологических особенностей развития обыкновенной грушевой медяницы и определение эффективности инсектицидов различного механизма действия в контроле численности *P. pyri* L. Представлены результаты исследований по динамике развития грушевой медяницы в Прикубанской зоне Краснодарского края. В годы исследований отмечена сумма эффективных температур, необходимая: для начала яйцекладки — 40 °С (при пороге 6 °С), начала отрождения личинок — 121...122 °С, периода от яйца до появившегося имаго — 300 °С. Мониторинг за динамикой развития фитофага показал, что вредитель в течение вегетационного сезона развивается в 6 полных поколениях. Показаны результаты мелкоделяночных полевых опытов по определению биологической эффективности инсектицидов, проведенных в 2021–2022 гг. в Прикубанской зоне, центральной подзоне садоводства Краснодарского края на базе генетической коллекции центра коллективного пользования (ЦКП) Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия на груше сорта Левен. Выявлено, что применение препаратов на основе ювеноидов и ингибиторов синтеза хитина не уступают по эффективности химическим инсектицидам. Проведенные в течение двух лет исследования показали, что максимальная эффективность после однократного применения препаратов Акарб, ВДГ (250 г/кг феноксикарб) и Димилин, ВДГ (800 г/кг дифлубензурон) была на 10-е сутки и составляла 83,3...91,7 %, что выше эффективности стандарта.

Ключевые слова: обыкновенная грушевая медяница, *Psylla pyri* L., сумма эффективных температур, динамика лета, фитофаг

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

© Подгорная М.Е., Диденко Н.А., Прах С.В., Васильченко А.В., 2024



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

Благодарности. Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБНУ СКФНЦСВВ (№ FGRE-0498–2022–0003).

История статьи: поступила в редакцию 27 февраля 2023 г., принята к публикации 23 ноября 2023 г.

Для цитирования: Подгорная М.Е., Диденко Н.А., Прах С.В., Васильченко А.В. Оценка биологической эффективности инсектицидов в контроле численности грушевой медяницы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С.128–138. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-128-138

Biological effectiveness of insecticides in pear psylla control

Marina E. Podgornaya , Nadezhda A. Didenko ✉,
Svetlana V. Prah , Anfisa V. Vasilchenko 

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, *Krasnodar, Russian Federation*
✉ didenko-n.a@mail.ru

Abstract. *Psylla pyri* L. is the pear dominant pest, which damage can reach 70...90 %. 5–7 generations of the insect can develop during one growing season in the south of Russia. Phytophage is difficult to control due to development of insecticide resistance and presence of different growth stages at the same time in summer. Therefore, the research aim was to identify the most effective insecticides with various modes of action that restrain the number and development of pear psylla nymphs. The research tasks were to clarify biological features of pear psylla development and to determine effectiveness of insecticides with various modes of action in controlling *P. pyri* L. population. Pear psylla development in Prikubansky zone of the Krasnodar region was studied and the results were presented. During the research years, the sum of effective temperatures necessary for: start of egg laying was 40 °C (at a threshold of 6 °C); beginning of larvae hatching was 121...122 °C; period from egg to imago — 300 °C. Pest development monitoring showed that the insect has 6 full generations in the growing season. Field experiments were conducted with ‘Leven’ pear variety in Prikubansky zone, central gardening subzone of the Krasnodar Territory on the basis of genetic collection of North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking in 2021–2022 to determine biological effectiveness of insecticides. The results revealed that chemicals based on juvenoids and chitin synthesis inhibitors were not inferior in effectiveness to chemical insecticides. The two-year studies showed that the highest effectiveness after a single application of the chemicals Akarb, WDG (250 g/kg fenoxycarb) and Dimilin, WDG (800 g/kg diflubenzuron) was on the 10th day and amounted to 83.3...91.7 %, which was higher than the effectiveness of the standard.

Keywords: pear psylla, *Psylla pyri* L., sum of effective temperatures, dynamics of insect flight, phytophage

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Funding. The work was performed on a government assignment of North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking (no. FGRE-0498–2022–0003).

Article history: Received: 27 February 2023. Accepted: 23 November 2023.

For citation: Podgornaya ME, Didenko NA, Prah SV, Vasilchenko AV. Biological effectiveness of insecticides in pear psylla control. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):128–138. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-128-138

Введение

На Северном Кавказе груша возделывается на ограниченных площадях и в процессе выращивания отмечается недобор качественного урожая. Одна из основных причин, по которой хозяйства отказываются от выращивания груш, — повреждение насаждений обыкновенной грушевой медяницей *Psylla pyri* L., ущерб от которой может составлять 20...30 %, в годы массового размножения — до 70...90 %. Фитофаг вызывает некроз и дефолиацию листьев и является переносчиком болезни увядания груш, повреждает почки, побеги и плоды. Как поливольтинный вредитель, грушевая медяница может развивать за один вегетационный период до 5–7 поколений, которые накладываются одно на другое [1, 2].

К основным средствам, используемым для борьбы с медяницами в грушевых насаждениях, относятся неселективные инсектициды, к которым *P. pyri* легко развивает устойчивость. Следовательно, химическая борьба против грушевой медяницы стала мало эффективной во многих странах из-за доминирования популяций вредителя, устойчивых к органофосфатам и пиретроидам [3, 4].

В странах Европы и США разработаны интегрированные системы защиты от грушевой медяницы, основанные на сохранении естественных врагов, так как установлено, что энтомофаги из семейства *Coccinellidae*, хищные клопы *Anthocoris nemoralis* и *Campylomma verbasci*, паразитические наездники *Trechnites*, а также различные виды пауков *Anyphaena*, *Philodromus* в значительной степени сдерживают численность фитофага в экосистеме груши [5–8].

Против каждой стадии развития фитофага применяют инсектициды различного механизма действия. В фенофазу «покоящаяся почка» обработки проводят веществами, препятствующими яйцекладке первого перезимовавшего поколения: каолин, минеральное масло, растительные масла [9–11]. Против нимф всех поколений используют препараты на основе синтетических пиретроидов, фосфорорганических соединений (ФОС), неоникотиноидов, оксидиазинов [12–14].

На территории Российской Федерации для борьбы с грушевой медяницей разрешены для применения 13 инсектицидов, все они высокотоксичны для пчел и человека, в основном это пиретроиды, неоникотиноиды и ФОС¹.

Проблемы при построении системы защитных мероприятий с грушевой медяницей заключается в особенностях развития вредителя, ограниченном сортименте средств защиты и возникновении устойчивости к химическим инсектицидам уязвимых фаз *P. pyri*, поэтому актуален мониторинг численности вредителя и подбор альтернативных препаратов различных групп для сдерживания численности фитофага [15].

Цель исследования — подбор инсектицидов различного механизма действия для контроля численности *Psylla pyri* L. с учетом биологических особенностей фитофага.

¹ Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, 2022 г. 879 с.

Задачи исследования — уточнить биологию развития грушевой медяницы в Прикубанской зоне (центральной подзоне) садоводства Краснодарского края, определить биологическую эффективность инсектицидов различного механизма действия в контроле численности *Psylla pyri* L.

Материалы и методы исследований

Мелкоделяночный полевой опыт проводили в 2021–2022 гг. в Прикубанской зоне, центральной подзоне садоводства Краснодарского края на базе генетической коллекции центра коллективного пользования (ЦКП) Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, расположенной в ЗАО ОПХ «Центральное», на груше сорта Левен, подвой ВА-29, схема питания — 5×2 м, площадь 1 варианта — 4 дерева, 4-кратная повторность.

Прикубанская зона садоводства представляет собой равнину, расположенную в бассейне реки Кубань. Почва опытного участка — чернозем выщелоченный сверхмощный слабогумусный легкоглинистый².

Учеты вредителя проводили согласно «Методическим указаниям по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве»³. Учеты проводили на 3, 7, 10, 14 сутки после обработки. Сумму эффективных температур (СЭТ) рассчитывали по общепринятой методике.

Для расчета биологической эффективности препаратов использовали формулу

$$\text{Э} = \frac{K - O}{K} \times 100,$$

где Э — эффективность, выраженная долей снижения численности вредителя, %; К — число живых особей в контроле в данный срок учета; О — число живых особей в опыте в данный срок учета.

Результаты исследования и обсуждение

Мониторинг насаждений груши в Прикубанской зоне садоводства Краснодарского края в 2021–2022 г. показал, что в регионе встречается два вида медяниц: *Psylla pyri* L. (обыкновенная грушевая медяница) и *Psylla pyrisuga* Frst. (большая грушевая медяница). Наиболее вредоносной является *P. pyri.*, максимальное количество нимф которой может достигать до 20 штук на розетку, *P. pyrisuga* — 0,1 штук на розетку.

Для установления оптимальных сроков обработок против грушевой медяницы в течение вегетационного периода проводили наблюдения за фенологией развития вредителя. В 2021 г. в Прикубанской зоне центральной подзоне выявлено, что

² Почвы Юга России / под ред. В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. Ростов-на-Дону: Эверест, 2008. 276 с.

³ Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве / под ред. В.И. Долженко. Санкт-Петербург: ВИЗР, 2009. 321 с.

начало яйцекладки наступает при СЭТ 42,6 °С, в фенофазу груши «покоящаяся почка», начало отрождения нимф — при СЭТ 121,1 °С, появление имаго первого поколения — при СЭТ 300,00 °С (рис. 1). Максимальную численность нимф — 19,7 штук на 10 см ростового побега — отмечали при развитии третьего поколения — в I декаде июня при СЭТ 720 °С.

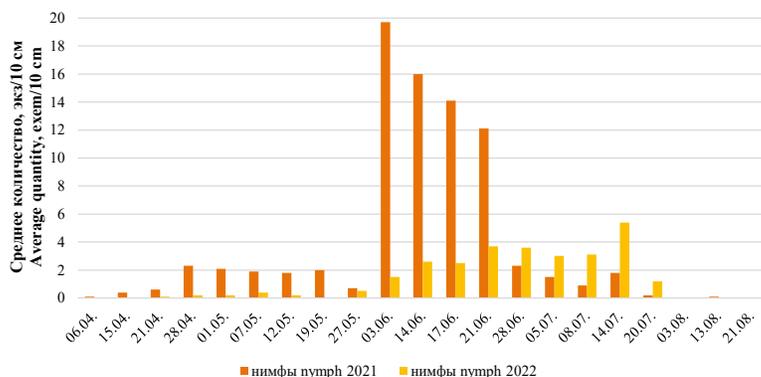


Рис. 1. Динамика развития грушевой медяницы в вегетацию 2021–2022 г.

Источник: сделано авторами

Fig. 1. Dynamics of development of pear psylla in 2021–2022 growing season.

Source: created by authors

В 2022 г. выявлено, что начало яйцекладки наступает при СЭТ 40,1 °С, в фенофазу груши «покоящаяся почка», начало отрождения нимф — при СЭТ 121,8 °С, появление имаго первого поколения — при СЭТ 300,00 °С (см. рис. 1).

В связи с погодными условиями (затяжные дожди) увеличение вредоносности грушевой медяницы в 2022 г. зафиксировали в начале июня, в конце развития второго — начале третьего поколения вредителя. Максимальную численность нимф — 5,4 шт. на 10 см — ростового побега наблюдали в пятом поколении в II декаде июля при СЭТ 1329 °С.

Таким образом, СЭТ необходимая для полного развития одного поколения фитофага, составляет 300 °С. В результате проведенных исследований установлено, что вредитель в течение 2021–2022 г. развивался в 6 полных поколениях, при этом в процессе развития летних генераций происходило наслаивание одного поколения на другое.

В задачи исследования входило испытание малотоксичных препаратов различного механизма действия с целью определения их биологической эффективности и расширения ассортимента препаратов в борьбе с фитофагом.

В опыте применяли однократно препараты (табл. 1): Акарб, ВДГ (ювеноид) с нормой расхода 0,6 кг/га, Димилин, ВДГ (ингибиторы синтеза хитина) — 1,0 кг/га. В качестве стандарта был использован зарегистрированный против грушевой медяницы препарат Мовенто Энерджи, КС с нормой расхода 0,6 л/га. В ходе исследования определяли биологическую эффективность препаратов против нимф

грушевой медяницы, так как стандарт обладает только ларвицидным действием и не эффективен в отношении яйцекладки. Испытание препаратов проводили в период отрождения личинок первого летнего поколения фитофага.

Таблица 1

Характеристика изучаемых препаратов

Препарат	Акарб, ВДГ	Димилин, ВДГ	Мовенто Энерджи, КС (стандарт)
Действующее вещество	250 г/кг феноксикарб	800 г/кг дифлубензурон	120 г/л имидаклоприд + +120 г/л спиротетрамат
Препаративная форма	Водно-диспергируемые гранулы	Водно-диспергируемые гранулы	Концентрат суспензии
Химический класс	Ювеноид	Ингибитор синтеза хитина	Неоникотиноид
Механизм действия	Контактно-кишечный инсектицид	Контактно-кишечный инсектицид	Контактно-кишечный, системный инсектицид
Объект применения	Яйца, нимфы	Яйца, нимфы	Нимфы, имаго
Класс опасности для пчел	3	3	1
Класс опасности для человека	3	3	3

Table 1

Characteristics of the studied chemicals

Chemical	Akarb, WDG	Dimilin, WDG	Movento Energy, SC (standard)
Active ingredient	Fenoxycarb, 250 g/kg	Diflubenzuron, 800 g/kg	Imidacloprid 120 g/L + +spirotetramat 120 g/L
Formulation	Water-dispersible granules	Water-dispersible granules	Suspension concentrates
Chemical class	Juvenoid	Chitin synthesis inhibitor	Neonicotinoid
Mode of action	Contact-intestinal insecticide	Contact-intestinal insecticide	Contact-intestinal, systemic insecticide
Object of application	Egg, nymph	Egg, nymph	Nymph, imago
Hazard class for bees	3	3	1
Hazard class for humans	3	3	3

В 2021 г. испытание препаратов проводили в конце второго — начале развития третьего поколения, при численности нимф 16,9...17,3 экз. на 10 см ростового побега. Дата обработки — 07.06.2021 г: температура воздуха — 20 °С; относительная влажность воздуха — 63 %; скорость ветра — 2,0 м/с; выпадение осадков после опрыскивания через 8 суток (11,0 мм).

Установлено, что в 2021 г. на седьмые сутки после обработки биологическая эффективность (БЭ) в вариантах Акарб, ВДГ и Димилин, ВДГ не уступала значениям стандарта. К 10 суткам исследуемые препараты показали максимальную БЭ 82,3...83,0 %, что выше стандарта на 10 %, при средней численности в контроле 14,1 экземпляра на 10 см побега (табл. 2).

Таблица 2

Биологическая эффективность препаратов для борьбы с грушевой медяницей, 2021–2022 гг.

Вариант	Норма применения препарата, л, кг/га	Среднее число личинок на побег				Снижение численности относительно исходной с поправкой на контроль после обработки по суткам учетов, %				
		До обработки	После обработки по суткам учетов				После обработки по суткам учетов			
			3	7	10	14	3	7	10	14
2021 г.										
Акарб, ВДГ	0,6	17,2	7,6	5,2	2,5	3,0	53,9	67,5	82,3	75,2
Димилин, ВДГ	1,0	17,3	7,9	4,2	2,4	2,7	52,1	73,8	83,0	77,7
Стандарт Мовенто Энерджи, КС	0,6	16,9	8,4	4,2	3,8	4,0	49,1	73,8	73,0	66,9
Контроль	–	17,1	16,5	16,0	14,1	12,1	–	–	–	–
НСР ₀₅		0,7	3,3	3,8	3,8	3,7				
2022 г.										
Акарб, ВДГ	0,6	2,5	1,5	1,0	0,4	0,8	40,0	73,0	88,9	75,8
Димилин, ВДГ	1,0	2,4	1,4	0,8	0,3	0,8	44,0	78,4	91,7	75,8
Стандарт Мовенто Энерджи, КС	0,6	2,4	1,6	0,8	0,6	1,0	36,0	78,4	83,3	66,7
Контроль	–	2,6	2,5	3,7	3,6	3,0	–	–	–	–
НСР ₀₅		0,5	1,1	1,9	2,0	1,6				

Table 2

Biological efficacy of chemicals in controlling pear psylla, 2021–2022

Variant	Application rate, L, kg/ha	Average number of larvae per shoot				Decrease compared to the number before application, adjusted for control after processing by days, %				
		Before application	Days after application				After processing by day of accounting			
			3	7	10	14	3	7	10	14
2021										
Akarb, WDG	0.6	17.2	7.6	5.2	2.5	3.0	53.9	67.5	82.3	75.2
Dimilin, WDG	1.0	17.3	7.9	4.2	2.4	2.7	52.1	73.8	83.0	77.7
Movento Energy, SC (standard)	0.6	16.9	8.4	4.2	3.8	4.0	49.1	73.8	73.0	66.9
Control	–	17.1	16.5	16.0	14.1	12.1	–	–	–	–
LSD ₀₅		0.7	3.3	3.8	3.8	3.7				
2022										
Akarb, WDG	0.6	2.5	1.5	1.0	0.4	0.8	40.0	73.0	88.9	75.8
Dimilin, WDG	1.0	2.4	1.4	0.8	0.3	0.8	44.0	78.4	91.7	75.8
Movento Energy, SC (standard)	0.6	2.4	1.6	0.8	0.6	1.0	36.0	78.4	83.3	66.7
Control	–	2.6	2.5	3.7	3.6	3.0	–	–	–	–
LSD ₀₅		0.5	1.1	1.9	2.0	1.6				

В 2022 г. испытания инсектицидов проводили в конце развития второго — начале третьего поколения 14 июня при численности нимф фитофага на уровне 2,5...2,6 экз. на 10 см ростового побега. Температура воздуха — 25,3 °С; относительная влажность воздуха — 50,5 %; скорость ветра — 5,0 м/с; выпадение осадков после опрыскивания отмечено через сутки (15,0 мм).

В результате учетов отмечено, что максимальная биологическая эффективность 88,9...91,7 %, наблюдалось на 10-е сутки после обработки в стандарте и вариантах опыта, при средней численности в контроле 3,6 экземпляра на 10 см побега (см. табл. 2).

Анализ полученных в течение двух лет данных позволяет выделить препараты с максимальной эффективностью в отношении нимф грушевой медяницы: Акарб, ВДГ (ювеноид) с нормой расхода 0,6 кг/га, Димилин, ВДГ (ингибиторы синтеза хитина) — 1,0 кг/га (рис. 2).

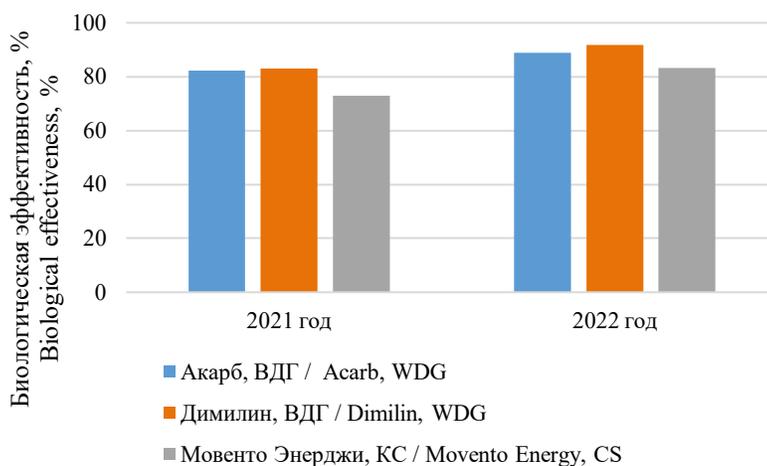


Рис. 2. Биологическая эффективность исследуемых препаратов на 14-е сутки, 2021–2022 гг.

Источник: сделано авторами

Fig. 2. Biological effectiveness of the studied chemicals on the 14th day, 2021–2022

Source: created by authors

Заключение

В результате изучения биологических особенностей грушевой медяницы *Psylla pyri* L. в Прикубанской зоне садоводства Краснодарского края выявлено, что сумма эффективных температур, необходимая для начала яйцекладки — 40 °С, отрождения личинок — 121 °С, развития одной генерации — 300 °С. Мониторинг динамики развития фитофага выявил, что вредитель в течение вегетационного сезона развивается в 6 полных поколениях.

Оценка биологической эффективности инсектицидов в контроле численности грушевой медяницы показала, что максимальная БЭ у инсектицидов Акарб, ВДГ (норма расхода 0,6 кг/га) и Димилин, ВДГ (норма расхода 1,0 кг/га), была на уровне 83,3...91,7 %.

Список литературы

1. Bozkurt V, Ugur A. Effects of kaolin on some biological properties of pear sucker [*Cacopsylla pyri* (L.) (Hemiptera: Psyllidae)] // *Acta Hort.* 2020. Vol. 1269. P. 191–198. doi: 10.17660/ActaHortic.2020.1269.26
2. Балькина Е.Б., Корж Д.А., Ягодинская Л.П. Сезонная динамика численности грушевой листоблошки (*Psylla pyri* L.) в Крыму // Вестник защиты растений. 2015. № 3(85). С. 34–38.
3. František K., Stará J. Management and control of insecticide-resistant pear psylla *Cacopsylla pyri* // *Journal of fruit and ornamental plant research*. 2006. № 14. P. 167–175. <https://www.semanticscholar.org/paper/Management-and-control-of-insecticide-resistant-Kocourek-Stará/51565feccf8e8a79f7fdb57cb6ec3112150b02fc> Дата обращения: 14.09.2022.
4. Civolani S. The past and present of pear protection against the pear psylla, *Cacopsylla pyri* L. // *InTech*. 2012. P. 385–408. doi: 10.5772/28460
5. Gajski D., Pekar S. Assessment of the biocontrol potential of natural enemies against psyllid populations in a pear tree orchard during spring // *Pest Management Science*. 2021. Vol. 77. № 5. P. 2358–2366. doi: 10.1002/ps.6262
6. DuPont S.T., Strohm C., Nottingham L., Rendon D. Evaluation of an integrated pest management program for central Washington pear orchards // *Biological Control*. 2021. Vol. 152. P. 104390. doi: 10.1016/j.biocontrol.2020.104390
7. Ahmad M.J., Mohiudin S., Pathania S.S., Mukhtar M. Feeding potential of anthocorid bug, *Blaptostethus pallescens* (Poppus) (Hemiptera: Anthocoridae) against eggs of pear psylla, *Cacopsylla pyricola* (Foerster) (Homoptera: Psyllidae) on pear in Kashmir // *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2020. Vol. 8(5). P. 685–689. Режим доступа: <https://www.entomoljournal.com/archives/2020/vol8issue5/PartJ/8-4-466-392.pdf> Дата обращения: 10.08.2022.
8. Petrakova L., Michalko R., Loverre P., Sentenská L., Korenko S., Pekar S. Intraguild predation among spiders and their effect on the pear psylla during winter // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. Vol. 233. P. 67–74. doi: 10.1016/j.agee.2016.08.008
9. Erler F., Tosun H. Plant oils as oviposition deterrents against winterform females of pear psylla, *Cacopsylla pyri* (L.) (Hemiptera: Psyllidae) // *Phytoparasitica*. 2017. № 45. С. 1–7. doi: 10.1007/s12600-017-0609-7
10. Li J., Tian B. Peppermint Essential Oil Toxicity to the Pear Psylla (Hemiptera: Psyllidae) and Potential Applications in the Field // *Journal of Economic Entomology*. 2020. Vol. 113. № 3. P. 1307–1314. doi: 10.1093/jee/toaa009
11. Диденко Н.А., Подгорная М.Е. Биологические подходы к разработке интегрированной защиты насаждений груши от грушевой медяницы // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2021. № 70(4). С. 254–268. doi: 10.30679/2219-5335-2021-4-70-254-268
12. Колтун Н.Е., Гребнева Ю.Н. Контроль численности и вредоносности грушевых медяниц в садах Беларуси // *Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук*. 2014. № 4. С. 66–74. Режим доступа: <https://vestiagr.belnauka.by/jour/article/view/176/178> Дата обращения: 10.07.2022.
13. Скрылев А.А., Каширская Н.Я. Использование современных инсектицидов различного механизма действия против грушевой медяницы в зависимости от вегетационного сезона // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2016. № 40(4). С. 137–145. Режим доступа: <http://journalkubansad.ru/pdf/16/04/14.pdf> (дата обращения 11.08.2022).
14. Balykina E.B., Korzh D.A., Gorina V., Yagodinskaya L.P. Comparative effectiveness of various protection systems of the pear from *Psylla pyri* L. In the Crimea // *Acta Horticulturae*. 2020. Vol. 1298. P. 469–475. doi: 10.17660/ActaHortic.2020.1298.64
15. Civolani S., Soroker V., Cooper W.R., Horton D.R. Diversity, biology, and management of the pear psyllids: a global look // *Annals of the Entomological Society of America*. 2023. Vol. 116. № 6. P. 331–357. doi: 10.1093/aesa/saad025

References

1. Bozkurt V, Ugur A. Effects of kaolin on some biological properties of pear sucker [*Cacopsylla pyri* (L.) (Hemiptera: Psyllidae)]. *Acta Hort.* 2020;1269:191–198. doi: 10.17660/ActaHortic.2020.1269.26
2. Balykina EB, Korzh DA, Yagodinskaya LP. *Psylla pyri* seasonal population changes in the Crimea. *Plant protection news*. 2015;(3):34–38. (In Russ.).

3. František K, Stará J. Management and control of insecticide-resistant pear psylla (*Cacopsylla pyri*). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. 2006;14(3):167–174.
4. Civolani S. The past and present of pear protection against the pear psylla, *Cacopsylla pyri* L. In: Perveen F (ed.) *Insecticides: Pest Engineering*. 2012. p.385–408.
5. Gajski D, Pekar S. Assessment of the biocontrol potential of natural enemies against psyllid populations in a pear tree orchard during spring. *Pest Management Science*. 2021;155:104390. doi: 10.1002/ps.6262
6. DuPont ST, Strohm C, Nottingham L, Rendon D. Evaluation of an integrated pest management program for central Washington pear orchards. *Biological Control*. 2021;152:104390. doi: 10.1016/j.biocontrol.2020.104390
7. Ahmad MJ, Mohiudin S, Pathania SS, Mukhtar M. Feeding potential of anthocorid bug, *Blaptostethus pallescens* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae) against eggs of pear psylla, *Cacopsylla pyricola* (Foerster) (Homoptera: Psyllidae) on pear in Kashmir. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2020;8(5):685–689.
8. Petrakova L, Michalko R, Loverre P, Sentenská L, Korenko S, et al. Intraguild predation among spiders and their effect on the pear psylla during winter. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016;233:67–74. doi: 10.1016/j.agee.2016.08.008
9. Erler F, Tosun HS. Plant oils as oviposition deterrents against winterform females of pear psylla, *Cacopsylla pyri* (L.) (Hemiptera: Psyllidae). *Phytoparasitica*. 2017;45:509–515. doi: 10.1007/s12600-017-0609-7
10. Li J, Tian B. Peppermint essential oil toxicity to the pear psylla (Hemiptera: Psyllidae) and potential applications in the field. *Journal of Economic Entomology*. 2020;113(3):1307–1314. doi: 10.1093/jee/toaa009
11. Didenko NA, Podgornaya ME. Biological approaches to the development of integrated protection of pear plants from pear psylla. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2021;(70):254–268. (In Russ.). doi: 10.30679/2219-5335-2021-4-70-254-268
12. Koltun NE, Grebneva YN. Control of pear psylla number and its harmfulness in the orchards of Belarus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*. 2014;(4):66–74. (In Russ.).
13. Skrylev AA, Kashirskaya NY. The use of modern insecticides of different mechanisms of action against pear psylla according to the growing season. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2016;(40):137–145. (In Russ.).
14. Balykina EB, Korzh DA, Gorina VM, Yagodinskaya LP. Comparative effectiveness of various protection systems of the pear from *Psylla pyri* L. in the Crimea. *Acta Horticulturae*. 2020;1298:469–475. doi: 10.17660/ActaHortic.2020.1298.64
15. Civolani S, Soroker V, Cooper WR, Horton DR. Diversity, biology, and management of the pear psyllids: a global look. *Annals of the Entomological Society of America*. 2023;116(6):331–357. doi: 10.1093/aesa/saad025

Об авторах:

Подгорная Марина Ефимовна — кандидат биологических наук, заведующая лабораторией защиты и токсикологического мониторинга многолетних агроценозов, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: podgornayame@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2268-1279 SPIN-код: 6686-9037

Диденко Надежда Александровна — младший научный сотрудник лаборатории защиты и токсикологического мониторинга многолетних агроценозов, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: didenko-n.a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4012-4457 SPIN-код: 2418-6797

Прах Светлана Владимировна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории защиты и токсикологического мониторинга многолетних агроценозов, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: sp41219778@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6416-3798 SPIN-код: 3652-3020

Васильченко Анфиса Витальевна — младший научный сотрудник лаборатории защиты и токсикологического мониторинга многолетних агроценозов, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. 40-летия Победы, д. 39; e-mail: anfisavv@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7680-7511 SPIN-код: 6853-1941

About authors:

Podgornaya Marina Efimovna — Candidate of Biological Sciences, head of Laboratory of Protection and Toxicological Monitoring of Perennial Agroecosystems, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st. Krasnodar, 350901, Russian Federation; e-mail: podgornayame@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2268-1279 SPIN: 6686-9037

Didenko Nadezhda Aleksandrovna — Junior Researcher, Laboratory of Protection and Toxicological Monitoring of Perennial Agroecosystems, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st. Krasnodar, 350901, Russian Federation; e-mail: didenko-n.a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4012-4457 SPIN: 2418-6797

Prah Svetlana Vladimirovna — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Protection and Toxicological Monitoring of Perennial Agroecosystems, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st. Krasnodar, 350901, Russian Federation; e-mail: sp41219778@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-6416-3798 SPIN: 3652-3020

Vasilchenko Anfisa Vitalievna — Junior Researcher, Laboratory of Protection and Toxicological Monitoring of Perennial Agroecosystems, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, 39 im. 40-letiya Pobedy st. Krasnodar, 350901, Russian Federation; e-mail: anfisavv@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7680-7511 SPIN: 6853-1941



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-139-154

УДК 632.3.01/.08

EDN: AIEVBJ

Научная статья / Research article

Разнообразие штаммов возбудителя бактериального ожога сои *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* в РФ

Р.И. Тараканов¹  , П.В. Евсеев² , К.С. Трошин¹ ,
А.Н. Игнатов³ , Ф.С.-У. Джалилов¹ 

¹Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация

²Институт биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова,
г. Москва, Российская Федерация

³Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 tarakanov.rashit@mail.ru

Аннотация. Бактериальный ожог, вызываемый бактерией *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* (Psg), является одной из самых вредоносных бактериальных болезней сои. Болезнь способна снижать урожайность (до 40 %), маслячность и всхожесть семян. Меры защиты и снижения вредоносности патогена должны носить комплексный характер, наиболее кардинальной из них является селекция на устойчивость. Для выведения устойчивых сортов необходима оценка разнообразия патогена на территории районирования будущего сорта и селекция в отношении наиболее распространенных и вредоносных форм патогена. Цель исследования — характеристика циркулирующих на территории РФ штаммов Psg как возбудителей бактериального ожога сои. Из растений и семян сои, выращенных в разных регионах РФ, выделили 12 штаммов возбудителя бактериального ожога сои Psg. Выделенные штаммы были идентичны референтному штамму Psg CFBP 2214 по флуоресценции, морфологии колоний на среде Кинга Б и результатам теста ЛОРАТ (+, –, –, +) и образовывали ампликон при видоспецифичном ПЦР-анализе гена *cfl* (коронафакат-лигазы). Штаммы обладали разной степенью вирулентности при инокуляции растений сои сорта Касатка, и значения ширины зоны с симптомами при искусственной инокуляции листьев варьировали от 3,23 мм (у штамма G7) до 6,53 мм (у штамма G4). Последовательности генов *gltA* и *ITS* 16S-23S рРНК российских штаммов имели низкую степень генетического полиморфизма и высокую (95,8...98,8 %) идентичность с соответствующими последовательностями штаммов возбудителя бактериального ожога сои из базы данных NCBI. Анализ расового состава штаммов показал, что доминирующей в стране является раса 4.

Ключевые слова: расы патогена, сорта-дифференциаторы, филогения, вирулентность, сорт Касатка, штаммы Psg

© Тараканов Р.И., Евсеев П.В., Трошин К.С., Игнатов А.Н., Джалилов Ф.С.-У., 2024



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. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Р.И. Тараканов — выделение бактерий и их характеристика, проведение опытов по вирулентности, определению рас, написание черновика статьи; П.В. Евсеев — проведение секвенирования и анализ полученных данных; К.С. Трошин — выделение, биохимическая и фенотипическая характеристика штаммов; А.Н. Игнатов — редактирование статьи; Ф.С.-У. Джалилов — концепция и дизайн исследования, написание текста.

Финансирование. Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность куратору коллекции сои, канд. биол. наук, вед. науч. сотруднику И.В. Сеферовой и руководителю отдела генетических ресурсов зернобобовых культур, д-ру биол. наук, проф. М.В. Вишняковой (ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР)) за предоставление образцов сортов-дифференциаторов *P. savastanoi* pv. *glycinea*.

История статьи: поступила в редакцию 11 января 2024 г., принята к публикации 27 февраля 2024 г.

Для цитирования: Тараканов Р.И., Евсеев П.В., Трошин К.С., Игнатов А.Н., Джалилов Ф.С.-У. Разнообразие штаммов возбудителя бактериального ожога сои *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* в РФ // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 139–154. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-139-154

Diversity of soybean bacterial blight pathogen *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in the Russian Federation

Rashit I. Tarakanov¹  , Peter V. Evseev² , Konstantin S. Troshin¹ ,
Aleksandr N. Ignatov³ , Fevzi S.U. Dzhalilov¹ 

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

²Shemyakin — Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Moscow, Russian Federation

³RUDN University, Moscow, Russian Federation

 tarakanov.rashit@mail.ru

Abstract. One of the most harmful bacterial diseases of soybean is bacterial blight caused by bacterium *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*. The pathogen can reduce soybean yield (up to 40 %), oil content and seed germination. To manage the pathogen damage, protection measures should be comprehensive, the most cardinal of which is breeding for resistance. To obtain resistant varieties, it is necessary to understand the diversity of the pathogen in the area and to breed against the most common and harmful forms of the pathogen. In this regard, the aim of the study was to characterize *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* strains circulating in the Russian Federation as casual agents of bacterial blight of soybean. 12 strains of the soybean bacterial blight pathogen were isolated from soybean plant parts and seeds grown in different regions of the Russian Federation. The isolated strains were identical to the reference strain Psg CFBP 2214 in fluorescence, colony morphology on King B medium and LOPAT test results (+, –, –, –, +) and formed an amplicon in specific PCR analysis of *cfI* (coronafacate ligase) gene. The strains had different virulence to Kasatka soybean plants, and the width of symptomatic zone when leaves were artificially inoculated ranged from 3.23 mm (in strain G7) to 6.53 mm in

strain G4. Comparison of the obtained *gltA* and *ITS* 16S-23S rRNA gene sequences showed a high (95.8...98.8 %) identity to the bacterial blight pathogen strains deposited to NCBI Genbank, and phylogenetic analysis showed a low intra-strain genetic polymorphism. Analysis of the race composition of the strains showed that the race 4 was predominant in the Russian Federation.

Keywords: pathogen races, differentiator varieties, phylogeny, virulence, Kasatka variety, Psg strains

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to the curator of the soybean collection PhD (Bio), leading researcher I.V. Seferova and Head of the Department of Genetic Resources of Leguminous Crops Dr. Bio. Sc., Prof. M.V. Vishnyakova (Vavilov all-Russian Institute of Plant Genetic Resources) for providing samples of differentiator varieties of *P. savastanoi* pv. *glycinea*.

Author contributions: R.I. Tarakanov — isolation of bacteria and their characterization, conducting experiments on virulence, race determination, writing the paper; P.V. Evseev — sequencing and analysis of obtained data; K.S. Troshin — isolation, biochemical and phenotypic characterization of strains; A.N. Ignatov — editing of the paper; F.S.-U. Dzhililov — concept and design of the research, writing the paper.

Article history: Received: 11 January 2024. Accepted: 27 February 2024.

For citation: Tarakanov RI, Evseev PV, Troshin KS, Ignatov AN, Dzhililov FSU. Diversity of soybean bacterial blight pathogen *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in the Russian Federation. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):139–154. (In Russ.). doi: doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-139-154

Введение

Соя (*Glycine max* Willd) является одной из основных сельскохозяйственных культур во всем мире. Наиболее вредоносной среди болезней бактериальной этиологии сои считается бактериальный ожог (или угловатая пятнистость), способная снизить урожайность на 40 % [1]. Возбудителем болезни является граммотрицательная бактерия *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* (Coerper 1919) Gardan et al. 1992 (синоним — *P. syringae* pv. *glycinea* (Coerper) Young et al.) (далее — Psg) [2]. Патоген обнаружен в 41 стране мира, включая все климатические зоны производства сои¹. Psg поражает все надземные части сои, но характерные симптомы обычно наблюдаются на листьях среднего и верхнего ярусов и на бобах. Болезнь может приводить к карликовости, снижению листовой поверхности и полной гибели растения [3].

Борьба с болезнью включает использование устойчивых сортов, соблюдение севооборота, посев только свободных от болезни семян и применение бактерицидов во время вегетации. Селекция устойчивых сортов сои считается наиболее надежным подходом, однако она сдерживается эволюцией вирулентности патогена и необходимостью тщательной характеристики штаммов на определенной территории для целенаправленной селекции на устойчивость к местным штаммам. Штаммовый состав возбудителя бактериального ожога сои на территории РФ на данный момент остается неизвестным, в связи с чем, **целью исследования** являлась характеристика штаммов *P. savastanoi* pv. *glycinea*, циркулирующих на территории РФ, как возбудителей бактериального ожога сои.

¹ *Pseudomonas savastanoi* pv. *Glycinea* // EPPO Global Database. Режим доступа: <https://gd.eppo.int/taxon/PSDMGL>, Дата обращения: 29 октября 2023 г.

Материалы и методы исследования

Выделение штаммов Psg. Штаммы Psg выделяли из инфицированных листьев и семян сои по общепринятой методике [4] с небольшими изменениями. Семена и части растений с симптомами гомогенизировали в ступке с добавлением стерильной дистиллированной воды до однородного состояния. Последовательные десятикратные разведения гомогената наносили на среду Кинга Б, дополненную 10 мкг/мл цефалексина (модификация среды Кинга Б — КВС) и инкубировали при 28 °С в течение 4–6 дней. Типичные колонии флуоресцирующих псевдомонад очищали путем трех последовательных пересевов и использовали для дальнейшего анализа. Для сравнения во всех тестах использовали эталонный штамм Psg CFBR 2214.

Фенотипически изоляты оценивали по форме колоний и образованию флуоресцирующего сидерофора [5] при культивировании на среде Кинга Б. Биохимическая характеристика включала себя анализ LOPAT (образования лева-на (L), оксидазы (O), пектолитической активности на ломтиках картофеля (P), активности аргининдигидролазы (A) и реакции сверхчувствительности (СВЧ) на растениях табака (Т)) [6]. Штаммы хранили при –72 °С в 15%-м водном растворе глицерина.

Молекулярно-генетическая характеристика. Штаммы, показавшие идентичность Psg на предварительных этапах анализа, проверяли ПЦР со специфическими праймерами и сравнением последовательностей ДНК общепринятых таксономических генов. Для этого из двухсуточных культур штаммов выделяли ДНК с помощью набора для выделения «ГС-Проба» («АгроДиагностика», Москва, Россия) в соответствии с протоколом производителя. ПЦР-анализ проводили с использованием праймеров PsgFOR-1 (5'-GGC GCT CCC TCG CAC TT-3') и PsgREV-2 (5'-GGT ATT GGC GGG GGT GC-3') (размер продукта — 650 п.н.), специфичных для гена *cfl*, кодирующего коронафакат-лигазу, необходимого для синтеза фитотоксина коронатина [7]. Для проведения амплификации готовили 25 мкл ПЦР-смеси, содержащей 5 мкл 5×Master Mix (5×MasDDTaqMIX-2025, Диалат, Москва, Россия); 1,0 мкл каждого праймера с концентрацией 10 пМ и 5 нг целевой ДНК. ПЦР проводили в амплификаторе T100 (Bio-Rad, Геркулес, США) в соответствии с рекомендованной программой [8]. Ампликоны разделяли электрофорезом в 1,5%-м агарозном геле, окрашенном бромистым этидием в 0,5×TBE-буфере, и анализировали в системе гель-документирования Gel Doc XR+ (Bio-Rad).

Для более детальной генетической характеристики выделенных штаммов проводили секвенирование последовательностей гена цитратсинтазы (далее — *gltA*) и межгенного спейсера (далее — *ITS 16S-23S pPHK*). Для амплификации гена *gltA* использовали праймеры *cts-Fs* (5'-CCC GTC GAG CTG CCA ATW CTG A-3') и *cts-Rs* (5'-ATC TCG CAC GGS GTR TTG AAC ATC-3'), описанные в [9], а для гена *ITS 16S-23S pPHK* — оригинальные праймеры *ITS-1_Psg* (5'-GAA CCT GCG GCT GGA TCA-3') и *ITS-2_Psg* (5'-GCG CTT CTT CAC TTG ACC ATA TAA-3'),

разработанные нами на основе последовательности генома штамма Psg ICMP 2189. Состав реакционной смеси был аналогичен составу при амплификации гена *cfl*.

Температурно-временные условия амплификации гена *gltA* были аналогичны работе [9], а в случае с геном ITS 16S-23S рПНК использовали те же условия, но температуру отжига — 61 °С. Определение нуклеотидных последовательностей проводили на генетическом анализаторе 3130xl ABI (Applied Biosystems, США) в соответствии с инструкцией производителя в компании Евроген (Москва, Россия).

Эволюционная история была выведена с помощью метода минимальной эволюции [10] в программе MEGA X с помощью алгоритма Close-Neighbour-Interchange (CNI) и показаны оптимальные деревья (рис. 3). Тепловая карта попарных сравнений штаммов построена в программе GraphPad Prism 9.2.0 (GraphPad Software Inc., Бостон, МА, США).

Последовательности ДНК собирали с помощью программного пакета Bioedit. Для определения величины сходства последовательностей их сравнивали с имеющимися в GenBank с помощью программы Basic Local Alignment Search Tool — BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). В качестве критерия для определения видовой идентичности использовались последовательности, сходные с ранее опубликованными на более 96 % и являющиеся близкородственными к Psg.

Оценка вирулентности штаммов. У выделенных штаммов, показавших высокую (более 95 %) идентичность к штаммам группы 3 геномовида 2 *P. syringae* (*P. savastanoi*) на предыдущем этапе, оценивали вирулентность по отношению к растениям сои согласно описанной ранее методике [11]. Для этого, штаммы культивировали на среде Кинга Б при 18 (± 2) °С в течение 72 ч. Колонии суспендировали в стерильной воде, после чего доводили концентрацию до 10⁸ КОЕ/мл, измеряя оптическую плотность при помощи спектрофотометра Nanodrop One (Thermo FS, Уолтем, МА, США). Для лучшего контакта с листом в суспензию добавляли смачивающий агент Silwet Gold (Chemtura, США) до концентрации 0,01 %.

Для заражения использовали метод разрезания листьев сорта Касатка ножницами, смоченными в суспензии штамма, перпендикулярно жилкам на глубину 1 см от края, как описано ранее [11]. Условия культивирования растений были аналогичными упомянутым выше. Сорт Касатка был выбран по нескольким причинам. Во-первых, в ходе предварительной оценки реакции 47 образцов сои [11], сорт Касатка был средневосприимчивым, т.е. типичным для районированных сортов. Во-вторых, сорт раннеспелый и районирован в Центральных регионах РФ, в которых бактериальный ожог является потенциально вредоносным.

Положительным контролем в опытах служила суспензия типового штамма CFBP 2214, отрицательными — стерильная вода и суспензии штаммов непатогенных видов: *Pseudomonas fluorescens* и *P. putida* из коллекции фитопатогенов кафедры защиты растений. Инокуляцию штаммов проводили в мае-августе 2022–2023 гг. в экспериментальных теплицах лаборатории защиты растений РГАУ — МСХА. Опыт повторяли двукратно (в июне и в августе каждого года), заражая одним штаммом

все листья 4 растений. Учет проводили на 12-е сутки после инокуляции, измеряя ширину зоны листа с симптомами при помощи цифрового штангенциркуля MaYuan MY-1720 (Guangzhou MaYuan Electronic Technology, Guangdong, Китай).

Оценка расового состава. Дифференциацию штаммов Psg по расам основывали по толерантности/восприимчивости сорта-дифференциатора к заражению штаммом. Набор дифференциаторов, включавший сорта Acme, Chippewa, Flambeau, Harosoy, Lindarin, Merit и Norchief, Hardee, Peking, Centennial [12], получили из коллекции образцов сои ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР, Санкт-Петербург). Для определения рас патогена готовили бактериальные суспензии и заражали сорта-дифференциаторы аналогично разделу выше. Через 12 дней отмечали для каждого штамма наличие (+) или отсутствие (–) симптомов на листе вокруг зоны разреза ножницами. Каждым штаммом заражали по 3 растения.

Статистический анализ и визуализация. Данные анализировали с применением метода дисперсионного анализа в программе Statistica 12.0 (StatSoft, США), сравнивая средние значения по критерию Дункана. Значения $p < 0,05$ считались значимыми. Графики были построены с помощью GraphPad Prism 9.2.0.

Результаты исследования и обсуждение

Фенотипическая и биохимическая характеристика выделенных штаммов Psg. С 2019 по 2022 гг. из семян и частей растений сои, собранных на территории РФ, выделили около 150 изолятов, проявляющих флуоресценцию и предварительно относящихся к *Pseudomonas* sp. Для сравнения с местными изолятами в качестве положительного контроля во всех тестах использовали штамм CFBR 2214.

После микробиологических и молекулярных тестов для дальнейшего анализа отобрали около 40 изолятов, наиболее похожих на Psg. Предварительная оценка ВОХ-ПЦР указала на наличие 12 штаммовых групп, и в дальнейшем анализе было использовано по 1 представителю каждой группы (табл. 1). Выделенные изоляты имели сходные биохимические и морфологические характеристики: белый, слегка кремовый цвет колоний, круглые, блестящие колонии, которые образовывали флуоресцирующий сидерофор за три дня и не проявляли пектолитической активности.

Таблица 1

Штаммы *Pseudomonas* sp., использованные в работе

Штамм	Растение-хозяин	Орган изоляции	Источник	Год выделения
<i>Штаммы Pseudomonas savastanoi pv. glyciniae</i>				
G1	Соя (<i>Glycine max</i>)	Семена	Воронежская область	2019
G2			Амурская область	2019
G3			Амурская область	2019
G4			Хабаровский край	2020
G5			Воронежская область	2020
G6			Воронежская область	2021

Окончание табл. 1

Штамм	Растение-хозяин	Орган изоляции	Источник	Год выделения
G7	Соя (<i>Glycine max</i>)	Семена	Воронежская область	2021
G8		Листья	Приморский край	2021
G9		Семена	Хабаровский край	2021
G10			Амурская область	2021
G11			Хабаровский край	2021
G17			Хабаровский край	2021
CFBP 2214		Листья	Новая Зеландия	1968
Другие виды <i>Pseudomonas</i> sp.				
<i>P. fluorescens</i>	–	Почва	Краснодарский край	2021
<i>P. putida</i>	–	Почва		2021

Table 1

***Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* strains used in the research**

Strain	Host	Part of plant	Source	Year of isolation
Strains of <i>Pseudomonas savastanoi</i> pv. <i>glycinea</i>				
G1	Soybean (<i>Glycine max</i>)	seeds	Voronezh region	2019
G2			Amur region	2019
G3			Amur region	2019
G4			Khabarovsk region	2020
G5			Voronezh region	2020
G6			Voronezh region	2021
G7			Voronezh region	2021
G8		leaves	Primorsky region	2021
G9		seeds	Khabarovsk region	2021
G10			Amur Region	2021
G11			Khabarovsk region	2021
G17			Khabarovsk region	2021
CFBP 2214		leaves	New Zealand	1968
<i>Pseudomonas</i> sp.				
<i>P. fluorescens</i>	–	soil	Krasnodar region	2021
<i>P. putida</i>	–	soil		2021

Вирулентность штаммов Psg. Штаммы Psg обладали разной степенью вирулентности по отношению к растениям сорта Касатка, образуя разной ширины зоны хлороза вокруг места разреза листа ножницами, смоченными в суспензии бактерии (рис., 1, А). Так, к примеру, наименьшим значением ширины зоны с симптомами обладал изолят G7 с шириной 3,23 мм, наибольшим — G4 (6,53 мм), а листья, инокулированные штаммом CFBP 2214, демонстрировали среднее значение 3,83 мм (рис., 1, Б). Другие штаммы показывали промежуточные значения. На листьях, инокулированных стерильной водой и штаммами других видов *Pseudomonas* (*fluorescens* и *putida*), не наблюдали симптомов поражения. Различия в вирулентности штаммов могли быть связаны как с различным каскадом факторов-вирулентности (например системы секреции III типа), так и с возможным ослаблением вирулентности при культивировании — известного явления среди патогенов. Различия в вирулентности штаммов, выделенных из одного растения известны, например, для *P. syringae* pv. *tomato* [13].

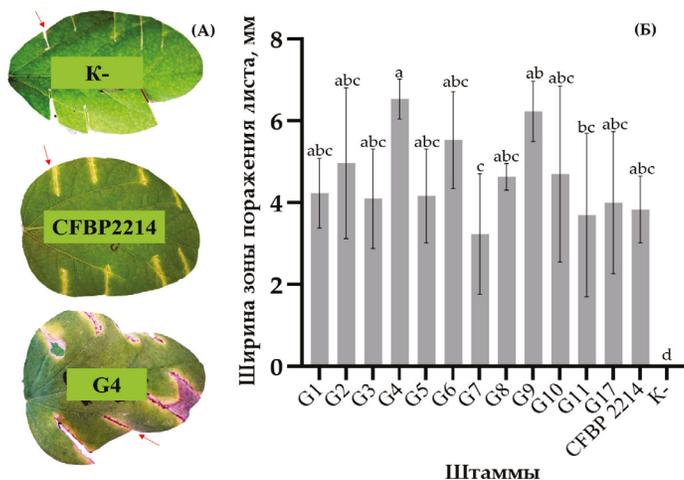


Рис. 1. Вирулентность штаммов *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*: А – разница в ширине зоны хлороза между штаммами и контролем; Б – значения ширины зоны поражения листьев через 12 дней после инокуляции разными штаммами. Буквенные индексы при столбиках указывают группы, статистически различаемые по критерию Дункана ($P < 0,05$)

Источник: выполнено авторами

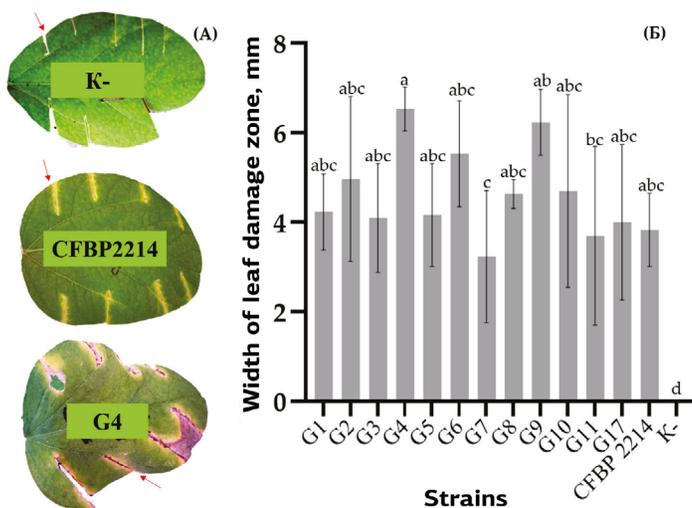


Fig. 1. Virulence of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* strains: A – difference in chlorosis zone width between strains and control; Б – Values of leaf lesion zone width 12 days after inoculation with different strains. Different letters near bars indicate statistical difference by Duncan test ($P < 0.05$)

Source: created by the authors

Молекулярно-генетическая характеристика. При амплификации с Psg-специфичными праймерами, все штаммы, в т. ч. CFBP 2214, образовывали четкий продукт размером ~ 650 п.н. (рис. 2). Амплификация гена *cfl* указывала на принадлежность к Psg [7], однако Moriawaki et. al. доказали, что существуют штаммы патогена, которые не продуцируют данный фитотоксин и не реагируют с этими праймерами при ПЦР [14]. Помимо этого, данный ген присутствовал у ряда па-

товаров *P. syringae*, поражающих другие культуры, например у *P. syringae* pv. *morsprunorum*, *atropurpurea* и *tomato* [8]. Таким образом, амплификация гена *cfl* косвенно указывала на принадлежность выделенных штаммов к Psg.

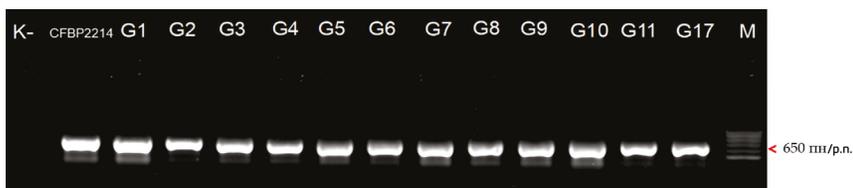


Рис. 2. ПЦР-детекция гена *cfl* у штаммов *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*: М – маркер молекулярного веса 100+bp (Евроген) (#NL002); К– – отрицательный контроль (реакция без ДНК); G1-G17 – анализируемые штаммы
 Источник: выполнено авторами

Fig. 2. PCR detection of *cfl* gene in *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* strains: М – 100+bp molecular weight marker (Eurogen) (#NL002); К– – negative control (reaction without DNA); G1-G17 – analyzed strains
 Source: created by the authors

Для окончательного подтверждения и видовой идентификации ДНК штаммов секвенировали по генам цитратсинтазы *gltA* и *ITS* 16S-23S рРНК. Аннотированные последовательности генов *gltA* и *ITS* 16S-23S рРНК Psg были депонированы в NCBI GenBank; номера депонирования приведены в табл. 2. При сравнении последовательностей с имеющимися в базе данных NCBI GenBank, оказалось, что все штаммы с высокой степенью идентичности (более 95 %) комплементарны видам *P. syringae* и *savastanoi* по гену *gltA*. Связано это с тем, что вид *P. syringae* совсем недавно был перегруппирован в девять отдельных геномных подвидов с *P. savastanoi*, включая патовары *phaseolicola*, *savastanoi*, *glycinea* и *tabaci* [15].

Таблица 2

Штаммы *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*, идентифицированные по последовательностям генов *gltA* и *ITS* 16S-23S рРНК

Штамм	Наиболее близкие виды при сравнении последовательностей с базой Genbank по гену		Идентификационный номер последовательности в Genbank по гену	
	цитратсинтазы (<i>gltA</i>)	<i>ITS</i> рРНК 16S-23S	цитратсинтазы (<i>gltA</i>)	<i>ITS</i> рРНК 16S-23S
G1	<i>P. syringae</i> ; <i>P. savastanoi</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743493	OR750531
G2	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743494	OR750532
G3	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. savastanoi</i>	OQ743495	OR750533
G4	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i>	OQ743496	OR750534
G5	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	OQ743497	OR750535
G6	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i>	OQ743498	OR750536
G7	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743499	OR750537
G8	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. savastanoi</i>	OQ743500	OR750538
G9	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i>	OQ743501	OR750539
G10	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	OQ743502	OR750540
G11	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743503	OR750541
G17	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	OQ743504	OR750542

***Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* strains identified by *gltA* and *ITS* 16S-23S rRNA genes sequences**

Strain	Closest species when comparing sequences with Genbank database by		Sequence identification number in Genbank	
	citrate synthase gene (<i>gltA</i>)	<i>ITS</i> rRNA 16S-23S gene	by citrate synthase gene (<i>gltA</i>)	by <i>ITS</i> rRNA 16S-23S gene
G1	<i>P. syringae</i> ; <i>P. savastanoi</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743493	OR750531
G2	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743494	OR750532
G3	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. savastanoi</i>	OQ743495	OR750533
G4	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i>	OQ743496	OR750534
G5	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	OQ743497	OR750535
G6	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i>	OQ743498	OR750536
G7	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743499	OR750537
G8	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. savastanoi</i>	OQ743500	OR750538
G9	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i>	OQ743501	OR750539
G10	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	OQ743502	OR750540
G11	<i>P. savastanoi</i> ; <i>P. syringae</i>	<i>P. amygdali</i> ; <i>P. syringae</i>	OQ743503	OR750541
G17	<i>P. savastanoi</i>	<i>P. syringae</i> ; <i>P. amygdali</i>	OQ743504	OR750542

Ряд штаммов, например, G1, G2, G7 и G11 также с высокой идентичностью (99,2...99,6 %) по последовательностям гена *ITS* 16S-23S рНК были комплементарны к *P. amygdali*. Данный факт можно объяснить тем, что ген *gltA* принадлежит к числу генов так называемого «домашнего хозяйства», а последовательность *ITS* 16S-23S рНК является достаточно консервативной последовательностью, что приводит к тому, что они имеют высокую идентичность у близкородственных видов [20]. Похожая картина высокой степени гомологии к близкородственным видам наблюдалась, например у *P. syringae* pv. *coriandricola* в работе Popović *et. al.* [16].

Для определения филогенетического родства 12 штаммов Psg с близкородственными видами проведен молекулярно-филогенетический анализ и построены филогенетические деревья с использованием программы MEGA X. Анализ последовательностей гена *gltA* поместил все штаммы Psg в одну кладу вместе с видами *P. syringae* и *P. savastanoi* (рис., 3, А). Штаммы отличались между собой по генетическому расстоянию. К примеру, отделились 3 группы штаммов, включавших:

— группу 1 (G6) с наиболее близким по последовательности *gltA* к *P. savastanoi*. pv. *phaseolicola* штаммом SUPP 1574;

— группу 2 (G3-G4, G7-G11, G17), близкую к другим штаммам *P. savastanoi* pv. *phaseolicola* и штамму NCPPB 3335 *P. sav.* pv. *savastanoi*;

— группу 3 (G1-G2, G5), сходную с *P. savastanoi* по *gltA*, но наиболее близкую по последовательности *ITS* 16S-23S рНК к *P. amygdali*.

Филогенетический анализ по последовательностям гена *ITS* 16S-23S рНК поместил штаммы Psg в три монофилетические клады (рис. 3, Б). Первая кладка включала в себя штаммы G4, G8, G10, G17 и штамм Psg RICPCZE из Genbank. Вторая кладка была самой многочисленной и включала в себя штаммы G3-G4, G6-G8 и G10-G11, а третья — штаммы G1-G2, G5 и G9. В другие кладки были помещены штаммы других патогенов, а именно *morsprunorum*, *syringae* и *lachrymans*.

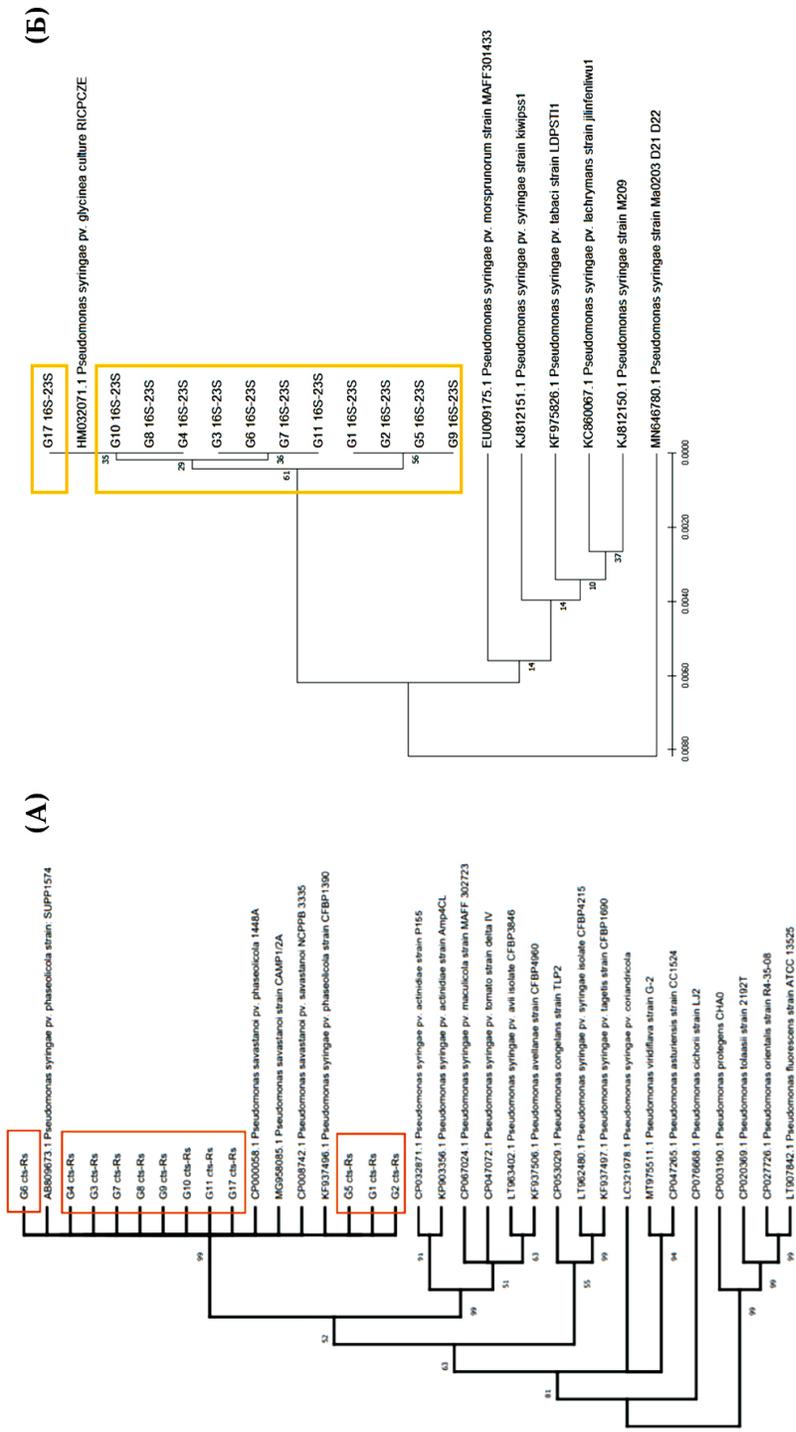


Рис. 3. Филогенетические деревья нуклеотидных последовательностей генов цитратсинтазы (*gltA*) (А) и *ITS* 16S-23S рРНК (Б) *Pseudomonas* spp. Оранжевыми рамками обведены штаммы, изученные в данной работе

Источники: выполнено авторами
 indicate the strains studied in the research
 Source: created by the authors

По генетическому расстоянию штаммы в целом не отличались между собой, однако имелись минимальные различия между несколькими штаммами (рис. 4). Например, отличались между собой в минимальных значениях штамм G4 и штаммы G1-G2 и G8-G9 в пределах 0,00187 единиц. Другие исследователи также указывали на малый генетический полиморфизм популяции *Psg* при анализе методами тандемных повторов с переменным числом множественных локусов (MLVA) [17], ВОХ-ПЦР [18] и макро-рестриктоного анализа (pulsed-field gel electrophoresis — PFGE) [19]. Таким образом, мы выявили низкую вариабельность и генетическую однородность штаммов популяции *Psg* в РФ.

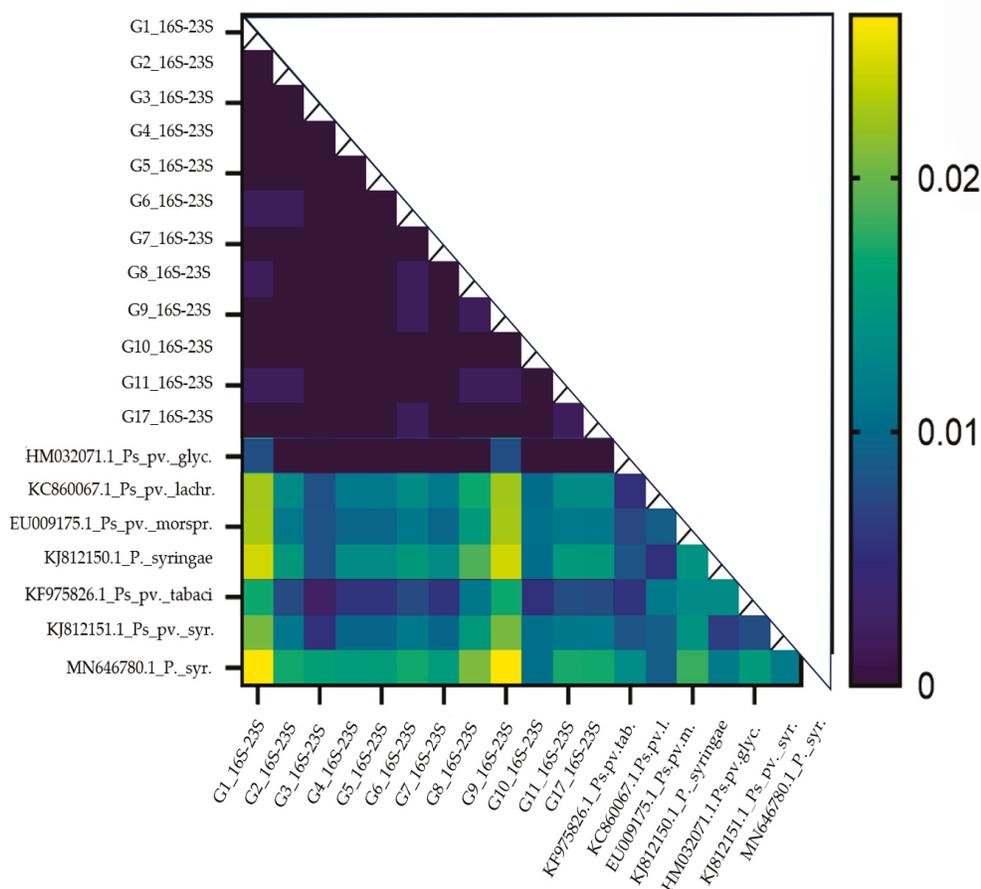


Рис. 4. Тепловая карта последовательностей гена *ITS* 16S-23S рПНК, показывающая попарные генетические расстояния штаммов *P. savastanoi* pv. *glycinea* и других патоваров *P. syringae*. Различные цвета соответствуют проценту генетического расстояния при попарном сравнении ДНК разных штаммов

Источник: выполнено авторами

Fig. 4. Heat map of *ITS* 16S-23S rRNA gene sequences showing pairwise genetic distances of *P. savastanoi* pv. *glycinea* strains and other *P. syringae* pathovars. Different colors correspond to the percent of genetic difference in pairwise comparison of DNA from different strains

Source: created by the authors

Анализ расового состава патогена показал, что все штаммы поражали все сорта-дифференциаторы (табл. 3). Таким образом, все 12 штаммов Psg, выделенных в РФ, относятся к расе 4, согласно схеме «ген-на-ген» взаимоотношений рас патогена и сортов дифференциаторов [12, 21]. Похожие результаты были получены другими исследователями, к примеру, Abo-Moch *et al.* провели анализ встречаемости рас Psg в Европе и пришли к выводу, что из 58 штаммов 42 относились к расе 4 [12]. Широкая распространенность расы 4 также подтверждена анализом изолятов из Канады [22], Сербии [7], США [23] и некоторых других странах [24]. Доминирование расы 4 показывает, что в селекции сои на устойчивость к бактериальному ожогу в РФ необходимо использовать штаммы именно этой расы, как наиболее распространенные и вредоносные в РФ и ближайших регионах мира.

Таблица 3 / Table 3

Результаты инокуляции сортов-дифференциаторов с штаммами *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*, использованными в работе

(S = susceptible (восприимчивый), R = resistant (устойчивый))

Results of inoculation of differentiator varieties with *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* strains used in this work (S = susceptible, R = resistant)

Сорт-дифференциатор / Differentiator variety	Штамм / Strain												
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G17	CFBP 2214
Acme	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Chippewa	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Flambeau	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Harosoy	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Lindarin	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Merit	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Norchief	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Hardee	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Peking	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Centennial	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Номер расы / Number of race	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Заключение

1. Выделенные штаммы *P. savastanoi* pv. *glycinea* обладают разной степенью вирулентности по отношению к растениям сои. Значения ширины зоны с симптомами поражения варьировали от 3,23 мм у штамма G7 до 6,53 мм у штамма G4.

2. Сравнение последовательностей генов *gltA* и *ITS 16S-23S* рРНК с имеющимися в базе данных NCBI Genbank показало высокую (95,8...98,8 %) степень идентичности выделенных штаммов к другим штаммам возбудителя бактериаль-

ного ожога сои, а генетический анализ выявил низкую степень внутривидового генетического полиморфизма.

3. Анализ расового состава штаммов показал, что доминирующей в популяции патогена в стране является раса 4. При селекции на устойчивость сои к возбудителю бактериального ожога сои рекомендуется использовать штаммы расы 4, как наиболее распространенные в РФ.

Библиографический список / References

1. Jagtap GP, Dhopte SB, Dey U. Bio-efficacy of different antibacterial antibiotic, plant extracts and bioagents against bacterial blight of soybean caused by *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*. *Sci J Microbiol.* 2012;1(1):1–9.
2. Zhang J, Wang X, Lu Y, Bhusal SJ, Song Q, Cregan PB, et al. Genome-wide scan for seed composition provides insights into soybean quality improvement and the impacts of domestication and breeding. *Mol Plant.* 2018;11(3):460–472. doi: 10.1016/j.molp.2017.12.016
3. Shepherd LM, Block CC. Detection of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in Soybean Seeds. In: *Detection of Plant-Pathogenic Bacteria in Seed and Other Planting Material*. 2nd ed. The American Phytopathological Society: St. Paul, MN, USA; 2017. doi: 10.1094/9780890545416.013
4. Alvarez E. New assays for detection of *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea* in soybean seed. *Plant Dis.* 1995;79(1):12–14. doi: 10.1094/PD-79-0012
5. Wensing A, Braun SD, Büttner P, Expert D, Völksch B, Ullrich MS, et al. Impact of Siderophore Production by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* 22d/93 on Epiphytic Fitness and Biocontrol Activity against *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea* 1a/96. *Appl Environ Microbiol.* 2010;76(9):2704–2711. doi: 10.1128/AEM.02979-09
6. Lelliott RA, Billing E, Hayward AC. A determinative scheme for the fluorescent plant pathogenic pseudomonads. *J Appl Bacteriol.* 1966;29(3):470–489. doi: 10.1111/j.1365-2672.1966.tb03499.x
7. Ignjatov M, Milošević M, Nikolić Z, Vujaković M, Petrović D. Characterization of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* isolates from Vojvodina. *Phytopathol Pol.* 2007;45:43–54.
8. Bereswill S, Bugert P, Völksch B, Ullrich M, Bender CL, Geider K. Identification and relatedness of coronatine-producing *Pseudomonas syringae* pathovars by PCR analysis and sequence determination of the amplification products. *Appl Environ Microbiol.* 1994;60(8):2924–2930. doi: 10.1128/aem.60.8.2924-2930.1994
9. Sarkar SF, Guttman DS. Evolution of the core genome of *Pseudomonas syringae*, a highly clonal, endemic plant pathogen. *Appl Environ Microbiol.* 2004;70(4):1999–2012. doi: 10.1128/AEM.70.4.1999-2012.2004
10. Rzhetsky A, Nei M. A Simple Method for Estimating and Testing Minimum-Evolution Trees. *Molecular Biology and Evolution.* 1991;9(5):945–967.
11. Tarakanov RI. Evaluation of the resistance of soybean cultivars to bacterial diseases on an artificial inoculation background. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2022;(5):92–107. (In Russ.). doi: 10.26897/0021-342X-2022-5-92-107
12. Тараканов Р.И. Оценка устойчивости сортов сои к бактериальным болезням на искусственном инфекционном фоне // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. № 5. С. 92–107. doi: 10.26897/0021-342X-2022-5-92-107
13. Abo-Moch F, Mavridis A, Rudolph K. Determination of Races of *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea* Occurring in Europe. *Journal of Phytopathology.* 1995;143(1):1–5. doi: 10.1111/j.1439-0434.1995.tb00190.x
14. Jones LA, Saha S, Collmer A, Smart CD, Lindeberg M. Genome-Assisted Development of a Diagnostic Protocol for Distinguishing High Virulence *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* Strains. *Plant Disease.* 2015;99(4):527–534. doi: 10.1094/PDIS-08-14-0833-RE
15. Moriwaki J, Mizuno A, Sato M, Kadota I, Nishiyama K. Difference in production of coronatine on potato tuber tissue and in liquid culture by *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*. *Japanese Journal of Phytopathology.* 1996;62(5):544–547. doi: 10.3186/jjphytopath.62.544

15. Gardan L, Bollet C, Ghorrah MA, Grimont F, Grimont PAD. DNA relatedness among the pathovar strains of *Pseudomonas syringae* subsp. *savastanoi* Janse (1982) and proposal of *Pseudomonas savastanoi* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 1992;42(4):606–612.
16. Popović T, Jelušić A, Dimkić I, Stanković S, Poštić D, Aleksić G, et al. Molecular Characterization of *Pseudomonas syringae* pv. *coriandricola* and Biochemical Changes Attributable to the Pathological Response on Its Hosts Carrot, Parsley, and Parsnip. *Plant Dis*. 2019;103(12):3072–3082. doi: 10.1094/PDIS-03-19-0674-RE
17. Rahi YJ, Turco S, Taratufolo MC, Tañi M, Cerboneschi M, Tegli S, et al. Genetic diversity and population structure of *Pseudomonas savastanoi*, an endemic pathogen of the Mediterranean area, revealed up to strain level by the MLVA assay. *J Plant Pathol*. 2020;102:1051–1064. doi: 10.1007/s42161-020-00589-0
18. Marques ASdA, Corbière R, Gardan L, Tourte C, Manceau C, Taylor JD, et al. Multiphasic Approach for the identification of the different classification levels of *Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola*. *European Journal of Plant Pathology*. 2000;106:715–734. doi: 10.1023/A:1026563831461
19. Grothues D, Rudolph K. Macrorestriction analysis of plant pathogenic *Pseudomonas* species and pathovars. *FEMS Microbiology Letters*. 1991;79(1):83–88. doi: 10.1111/j.1574-6968.1991.tb04509.x
20. Li L, Yuan L, Shi Y, Xie X, Chai A, Wang Q, et al. Comparative genomic analysis of *Pseudomonas amygdali* pv. *lachrymans* NM002: Insights into its potential virulence genes and putative invasion determinants. *Genomics*. 2019;111(6):1493–1503. doi: 10.1016/j.ygeno.2018.10.004
21. Cross JE, Kennedy BW, Lambert JW, Cooper RL. Pathogenic races of bacterial blight pathogen of soybeans, *Pseudomonas glycinea*. *Plant Disease Report*. 1966;50(8):557–560.
22. Gnanamanickam SS, Ward EWB. Bacterial blight of soybeans: a new race of *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea* and variations in systemic symptoms. *Can J Plant Pathol*. 1982;4(1):73–78. doi: 10.1080/07060668209501341
23. Prom LK, Venette JR. Races of *Pseudomonas syringae* pv. *glycinea* on Commercial Soybean in Eastern North Dakota. *Plant Dis*. 1997;81(5):541–544. doi: 10.1094/PDIS.1997.81.5.541
24. Fett WF, and Sequeira L. Further characterization of the physiologic races of *Pseudomonas glycinea*. *Can J Bot*. 1981;59(3):283–287. doi: 10.1139/b81-040

Об авторах:

Тараканов Рашид Ислямович — ассистент, аспирант кафедры защиты растений, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: tarakanov.rashit@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3235-8467 SPIN: 9049–7157

Евсеев Пётр Владимирович — кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова, Российская Федерация, 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 16/10; e-mail: petevseev@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1646-9802 SPIN: 4275–9187

Трошин Константин Сергеевич — магистрант, младший научный сотрудник кафедры защиты растений, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: konstantinetr@gmail.com

ORCID: 0009-0004-5018-1265 SPIN: 6032–4313

Игнатов Александр Николаевич — доктор биологических наук, профессор агробиотехнологического департамента, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: an.ignatov@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2948-753X SPIN: 3324–4985

Джалилов Февзи Сеид-Умерович — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты растений, Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: labzara@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5014-8375 SPIN: 3033–3991

About authors:

Tarakanov Rashit Islyamovich — assistant, PhD student, Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: tarakanov.rashit@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3235-8467 SPIN: 9049–7157

Evseev Peter Vladimirovich — Candidate of Biological Sciences, Researcher, Shemyakin — Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, 16/10 Miklouho-Maklaya st., Moscow, 117997, Russian Federation; e-mail: petevseev@gmail.com

ORCID: 0000-0002-1646-9802 SPIN: 4275–9187

Troshin Konstantin Sergeevich — Master student, Junior researcher, Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: konstantinetr@gmail.com

ORCID: 0009-0004-5018-1265 SPIN: 6032–4313

Ignatov Aleksandr Nikolaevich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Agrobiotechnology, 6 Miklouho-Maklaya st., Moscow, 117198, RUDN University, Russian Federation; e-mail: an.ignatov@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2948-753X SPIN: 3324–4985

Dzhalilov Fevzi Seid-Umerovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Plant Protection, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: labzara@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5014-8375 SPIN: 3033–3991



Защитное лесоразведение Protective afforestation

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-155-164

EDN: AKFGIB

УДК 581.151:574.3

Научная статья / Research article

Антропогенное влияние на стабильность развития лесных культур березы повислой *Betula pendula Roth* в зеленой зоне г. Астаны

С.А. Кабанова¹  , И.С. Кочегаров¹ , А.Н. Кабанов^{1,2} ,
М.А. Данченко² , П.Ф. Шахматов¹, В.А. Борцов¹, С.А. Скотт^{2,3} 

¹Казахский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, г. Щучинск, Казахстан

²Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация

³Государственный колледж Колумбуса, г. Колумбус, Соединенные Штаты Америки
 kabanova.05@mail.ru

Аннотация. Степень рекреационной нагрузки влияет на качество среды, что подтверждается изменением величины флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой. При нормальном качестве окружающей среды уровень отклонений минимален, при ухудшении условий среды снижается устойчивость и состояние биоты, а признаком величины изменений является интегральный показатель стабильности развития. Цель исследований — изучение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula Roth*) в зеленой зоне г. Астаны. Объекты исследований — 19-летние искусственные насаждения березы повислой, часть которых в 7-летнем возрасте была подвергнута пересадке из кулис в межкулисные пространства, а часть осталась расти в кулисах. Участок условно разделили на высокое и низкое местоположение в связи с особенностями рельефа. Все изучаемые насаждения в той или иной мере относятся к категории ослабленных. Состояние деревьев постепенно ухудшается и составляет в 2022 г.

© Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Борцов В.А., Скотт С.А., 2024



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

66,9...71,2 баллов на пересаженных участках и 72,3...72,4 баллов — на непересаженных пробных площадях. До создания рекреационной зоны в пересаженных культурах на высоком местопроизрастании наблюдалась начальная стадия отклонения от условной нормы. После благоустройства насаждений показатель асимметрии достиг наибольшей величины в 2022 г. во всех изученных насаждениях, кроме пересаженных культур на низком местоположении, которые имели 3–4-й балл по всем годам наблюдений. Пока в данных насаждениях качество среды не достигло критического значения, но в них также наблюдается сильное антропогенное воздействие, так как происходит вытаптывание верхнего слоя почвы из-за прокладки неорганизованных троп. Поэтому нужно принимать лесоводственные и иные меры по увеличению устойчивости и улучшению состояния искусственных насаждений. Необходимо проведение рубок ухода и внесение удобрений в почву, организация регулируемой дорожно-тропиночной сети, усиление контроля за отдыхающими.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, рекреационная зона, стабильность развития, состояние деревьев

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

Вклад авторов. С.А. Кабанова — планирование и анализ полученных данных, написание текста; И.С. Кочегаров, А.Н. Кабанов — сбор и обработка материалов, написание части текста; В.А. Борцов, М.А. Данченко, П.Ф. Шахматов, С.А. Скотт — сбор и обработка материалов.

Финансирование. Благодарности. Данное исследование финансируется Министерством экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (№ BR10263776).

История статьи: поступила в редакцию 2 августа 2022 г., принята к публикации 30 июня 2023 г.

Для цитирования: Кабанова С.А., Кочегаров И.С., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Борцов В.А., Скотт С.А. Антропогенное влияние на стабильность развития лесных культур березы повислой *Betula pendula* Roth в зеленой зоне г. Астаны // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С.155–164. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-155-164

Anthropogenic impact on stability of forest crops development of silver birch *Betula pendula* Roth in the green zone of Astana

Svetlana A. Kabanova¹  , Igor S. Kochegarov¹ , Andrey N. Kabanov^{1,2} ,
Matvey A. Danchenko² , Pavel F. Shakhmatov¹,
Valery A. Bortsov¹, Sabina A. Scott^{2,3} 

¹A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Republic of Kazakhstan

²National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

³Columbus State Community College, Columbus, United States of America

 kabanova.05@mail.ru

Abstract. Recreational load affects the quality of the environment, which is confirmed by the change of fluctuating asymmetry of silver birch leaves. The deviation level of the environmental quality is minimal when the quality is normal. However, when the environmental quality level is declining it leads to decrease in stability and state of biome, which is observed by the sign of the magnitude of changes as the integral indicator of developmental stability. The purpose of the research was to study fluctuating asymmetry of leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) in the green zone of Astana. The objects of research were 19-year-old artificial plantings of silver birch, some of which underwent intercropping practice simultaneously on the same field 7 years after

planting. The planting site was conventionally divided into high and low latitudes due to the vertical elevation change in a landscape. All the studied forest plantings to some degree exhibited a weakening state. The condition of the trees is gradually declining, which constitutes 66.9...71.2 points on replanted plots and 72.3...72.4 points — on non-replanted trial plots in 2022. Prior to the creation of a recreational zone in transplanted crops at a high latitude, an initial stage of deviation from the conventional norm was observed. After the forest crop improvements were implemented, fluctuating leaf asymmetry indicator reached its highest magnitude in 2022 in all the studied crops, except for transplanted crops at a low latitude, which had a 3rd-4th score for all the years of observation. So far, in these forest plantings, the quality of the environment has not reached a critical level, but they also display a strong anthropogenic impact, because of compression of topsoil due to the settling of unorganized paths. Therefore, it is necessary to take silvicultural and other measures to increase sustainability and improve condition and state of artificial forest plantings. It is imperative to carry out plants trimming and utilize soil amendments, organize a regulated road and footpath network, and strengthen control over travelers.

Keywords: fluctuating asymmetry, recreational zone, stability of development, condition of trees

Conflicts of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors contributions. S.A. Kabanova designed the experiments, analyzed the data, wrote the paper; I.S. Kochegarov, A.N. Kabanov — collected and processed the data, wrote the paper; V.A. Bortsov, M.A. Danchenko, P.F. Shakhmatov, S.A. Scott collected and processed the data.

Acknowledgments. The research was funded by the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan (no. BR10263776).

Article history: Received: 2 August 2022. Accepted: 30 June 2023.

For citation: Kabanova SA, Kochegarov IS, Kabanov AN, Danchenko MA, Shakhmatov PF, Bortsov VA, Scott SA. Anthropogenic impact on stability of forest crops development of silver birch *Betula pendula* Roth in the green zone of Astana. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):155–164. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-155-164

Введение

Среда оказывает большое влияние на состояние растительного сообщества, при позитивных условиях деревья и кустарники не имеют отклонений от нормы на молекулярно-клеточном, организменно-популяционном и биотическом уровне. При нормальном качестве окружающей среды уровень отклонений минимален, при ухудшении условий среды снижаются устойчивость и состояние биоты, а признаком величины изменений является интегральный показатель стабильности развития [1, 2].

Широко применяется методика измерения флуктуирующей асимметрии (ФА) для листьев березы повислой [3–5], начаты разработки шкал оценки комфортности среды обитания для различных древесных пород, в т.ч. дуба черешчатого [6], вяза [7, 8], клена остролистного [9]. Показатель ФА листового аппарата дает возможность определять все изменения в окружающей среде, даже незначительные отклонения условий, которые еще не проявляются в фенотипе растений, но уже влияют на снижение жизнеспособности [10]. У разных авторов показатель стабильности развития березы повислой имеет различный диапазон величин [11, 12].

Доказано воздействие антропогенных факторов, в т.ч. рекреации, на морфологическую структуру листьев. Степень рекреационной нагрузки влияет на качество среды, что подтверждается изменением величины ФА листьев березы

повислой [13–16]. В то же время имеются противники теории значимости ФА как метода биоиндикации, приводящие в качестве доказательств необходимость исследований взаимосвязи ФА с влиянием стрессовых факторов среды в рамках контролируемых экспериментов [17].

Цель исследований — изучение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой (*Betula pendula* Roth) в зеленой зоне г. Астаны.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований выбрали 19-летние искусственные насаждения березы повислой, часть которых в 7-летнем возрасте была подвергнута пересадке из кулис в межкулисные пространства, а часть осталась расти в кулисах. Участок условно был разделен на высокое и низкое местоположение в связи с особенностями рельефа. Размещение непересаженных культур — 4,0×1,0 м, пересаженных — 4,0×4,0 м.

Жизненное состояние деревьев на пробных площадях определяли по методике Алексева [18], согласно которой насаждение относилось к категории «здоровое» при вычисленном балле 80...100, «ослабленное» — 50...79 баллов, «сильно ослабленное» — 20...49 баллов.

Листья для проведения исследований собирали с деревьев, произрастающих на открытых участках, с нижней части кроны. На каждой пробной площадке было собрано по 100 листьев с разных деревьев. Изучение ФА листьев начинали с измерений следующих признаков: ширина листа; длина второй жилки второго порядка от основания листа; расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; расстояние между концами этих жилок; угол между главной жилкой и второй от основания жилкой второго порядка. Измерения проводили линейкой и транспортиром на левой и правой половине листьев. Расчеты показателя асимметрии выполняли на основании методических указаний [1, 11]. Система оценок приведена в табл. 1, из которых видно, что в зависимости от величины интегральных показателей стабильности развития определяется уровень отклонения от нормы (условно нормального фонового состояния) [19, 20].

Таблица 1

Шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития для *Betula pendula*

Балл	Качество среды	Величина показателя стабильности развития	
		[19]	[20]
I	Условно нормальное	< 0,040	< 0,055
II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы	0,040...0,044	0,056...0,060
III	Средний уровень отклонений от нормы	0,045...0,049	0,061...0,065
IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы	0,050...0,054	0,065...0,070
V	Критическое состояние	> 0,054	> 0,070

Table 1

Scale of assessment of deviations of the state of the organism from the conditional norm by the value of the integral indicator of development stability for *Betula pendula*

Score	Environmental quality	Indicator of development stability	
		Naumova et al. [19]	Dymshakov et al. [20]
I	Conditionally normal	< 0.040	< 0.055
II	Initial (minor) deviations from the norm	0.040...0.044	0.056...0.060
III	Average level of deviations from the norm	0.045...0.049	0.061...0.065
IV	Significant deviations from the norm	0.050...0.054	0.065...0.070
V	Critical condition	> 0.054	> 0.070

Результаты исследования и обсуждение

С момента пересадки деревьев из кулис в межкулисные пространства за лесными культурами проводят наблюдения за ростом и состоянием деревьев. В 2020 г. в данных насаждениях начато благоустройство территории с целью рекреационного использования. Между рядами березы построили велосипедные и пешеходные дорожки с асфальтовым покрытием, установили беседки и другие малые архитектурные формы. Следовательно, насаждения в течение трех лет подвергались антропогенному воздействию, особенно участок непересаженных деревьев на низком местоположении.

Прежде всего мы оценили жизненное состояние лесных культур березы повислой (табл. 2). Все изучаемые насаждения в той или иной мере относятся к категории ослабленных. Состояние деревьев постепенно ухудшается и составляет в 2022 г. 66,9...71,2 балла на пересаженных участках и 72,3...72,4 балла — на непересаженных пробных площадях.

Таблица 2

Оценка жизненного состояния лесных культур *Betula pendula*

Вид лесных культур	Место произрастания	Год наблюдений				
		2010	2019	2020	2021	2022
Непересаженные	Высокое	82,3	72,8	72,5	72,4	72,4
	Низкое	85,1	73,0	72,8	72,4	72,3
Пересаженные	Высокое	42,3	69,4	68,5	67,4	66,9
	Низкое	56,4	73,9	72,7	72,7	71,2

Table 2

Assessment of the vital state of *Betula pendula* forest crops

Type of forest crops	Tree elevation	Year of observations				
		2010	2019	2020	2021	2022
Not transplanted	High	82.3	72.8	72.5	72.4	72.4
	Low	85.1	73.0	72.8	72.4	72.3
Transplanted	High	42.3	69.4	68.5	67.4	66.9
	Low	56.4	73.9	72.7	72.7	71.2

Изначально лучшее состояние имели непересаженные лесные культуры на низком местоположении, возможно из-за близкого уровня грунтовых вод и особенностей рельефа, худшее — пересаженные культуры на высоком местоположении. В первый год после пересадки наблюдался большой отпад пересаженных деревьев, особенно на высоком местоположении. Стабильный показатель сохранности установился к 2019 г., когда сохранность пересаженных культур составила соответственно на низком и высоком местоположении 70,7 и 37,6 %, непересаженных — 92,1 и 91,8 %. Первоначальная общая оценка жизненного состояния на пересаженных лесных культурах имела достаточно низкий балл по сравнению с 2019 г., когда из-за гибели ослабленных и сомнительных деревьев числовой показатель жизненного состояния насаждений увеличился.

В табл. 3 приведены значения показателей ФА листьев березы повислой на пробных участках. К сожалению, сразу после пересадки культур изучение стабильности развития листовых пластинок не проводилось, поэтому приводятся результаты исследований до и после благоустройства территории. До создания рекреационной зоны (2019 г.) лучший балл показателя стабильности развития имели пересаженные деревья на высоком местопроизрастании, хотя там наблюдалась начальная стадия отклонения от условной нормы. У непересаженных деревьев на низком местоположении была стадия значительного отклонения от нормы. Поскольку данные культуры расположены рядом с оживленной автомобильной трассой, в них скапливалось большое количество тяжелых металлов, суммарные концентрации элементов в листьях достигали — 259,6 мг/кг. Кроме того, плотное стояние деревьев негативно влияло на экологическое состояние насаждений. Средней степенью асимметричности характеризовались пересаженные деревья на низком местопроизрастании и непересаженные насаждения на высоком местопроизрастании.

Балл стабильности развития у непересаженных деревьев на низком и высоком местопроизрастании постепенно снижался и достиг к 2022 г. показателя в 5 баллов, что говорит о критическом значении качества среды. Резкое снижение экологической обстановки произошло на участке пересаженных культур на высоком местопроизрастании. После создания рекреационной зоны показатель асимметричности со 2-го балла перешел на 4-й и достиг критического значения в 2022 г. Пересаженные культуры на низком местопроизрастании имели 3–4-й балл по всем годам наблюдений. Вследствие пересадки у деревьев увеличилась площадь питания и освещенность, из-за редкого стояния усилилась продуваемость, что способствовало снижению воздействия вредных выбросов автомобилей, суммарное содержание тяжелых металлов в листьях составило 217,0 мг/кг. Пока в данных насаждениях качество среды не достигло критического значения, но в них также наблюдается сильное антропогенное воздействие, так как происходит вытаптывание верхнего слоя почвы из-за прокладки неорганизованных троп.

**Интегральный показатель стабильности развития
в лесных культурах *Betula pendula***

Вид лесных культур	Место произрастания	Интегральный показатель стабильности развития по годам							
		Степень асимметричности				Значение показателя асимметричности, балл			
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Непересаженные	Высокое	0,0477	0,0508	0,0695	0,101	3	4	5	5
	Низкое	0,0509	0,0524	0,0579	0,068	4	4	5	5
Пересаженные	Высокое	0,0440	0,0508	0,0516	0,082	2	4	4	5
	Низкое	0,0469	0,0512	0,0468	0,053	3	4	3	4

Table 3

Integral indicator of development stability in *Betula pendula* forest crops

Type of forest crops	Tree elevation	Integral indicator of developmental stability by years							
		Degree of asymmetry				Asymmetry index			
		2019	2020	2021	2022	2019	2020	2021	2022
Not transplanted	High	0.0477	0.0508	0.0695	0.101	3	4	5	5
	Low	0.0509	0.0524	0.0579	0.068	4	4	5	5
Transplanted	High	0.0440	0.0508	0.0516	0.082	2	4	4	5
	Low	0.0469	0.0512	0.0468	0.053	3	4	3	4

Заключение

После гибели части пересаженных на низком местоположении культур остались наиболее устойчивые и приспособленные к агрессивным и стрессовым условиям среды деревья. Но все же на данном участке значение показателя асимметричности колеблется в пределах 3–4 баллов, что говорит о среднем и значительном напряжении состояния. Хотя до организации рекреационной зоны пересаженные деревья на высоком местоположении имели незначительное отклонение от нормы, начиная с 2020 г. они быстро теряли устойчивость и к концу исследования достигли критического состояния.

При сопоставлении оценки жизненного состояния и данных ФА листьев видно, что пересаженное насаждение на высоком местопроизрастании имело худшие показатели. Следует отметить, что сохранность пересаженных деревьев составила 37,6 %, деревья были ослабленными и сильно ослабленными. Наоборот, пересаженные деревья на низком местоположении имели достаточно большую сохранность, а в настоящее время жизненное состояние у них хотя и соответствует категории «ослабленное», но по баллам практически не отличается от непересаженных насаждений.

Поскольку состояние лесных культур березы повислой достигло критической отметки, необходимо принимать лесоводственные и иные меры по увеличению

устойчивости и улучшению состояния искусственных насаждений. Необходимо проведение рубок ухода и внесение удобрений в почву, организация регулируемой дорожно-тропиночной сети, усиление контроля за отдыхающими.

Список литературы

1. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
2. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests // *Acta Zool. Fenn.* 1992. Vol. 191. P. 57–72.
3. Рамза С.С., Гречнева А.Н. Интегральная экспресс-оценка качества среды по флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula roth*) // Студенческий научный форум: материалы VI Междунар. студенческой науч. конф., 2014. Режим доступа: <https://scienceforum.ru/2014/article/2014003330> Дата обращения: 18.01.2022.
4. Савинцева Л.С., Егошина Т.Л., Ширяев В.В. Оценка урбаноcреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой // Вестник удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. 2012. № 2. С. 31–37.
5. Беляева Ю.В. Показатели флуктуирующей ассиметрии *Betula pendula* Roth. в условиях антропогенного воздействия (на примере г. Тольятти) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3(7). С. 2196–2200.
6. Луговская Л.А., Землякова А.В., Межова Л.А., Луговской А.М. Оценка комфортности среды по флуктуирующей асимметрии дуба черешчатого *Quercus robur* // Научные ведомости. 2016. № 18 (239). С. 87–94.
7. Коротченко И.С. Биоиндикация загрязнения районов г. Красноярска по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки вяза приземистого // Вестник КрасГАУ. 2015. № 11. С. 67–72.
8. Максимович М.О., Зайцева А.С. Флуктуирующая асимметрия как способ оценки экологического состояния окружающей среды. Сравнительная характеристика параметров листьев вяза гладкого и осины обыкновенной как индикатора окружающей среды // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2017. № 2 (39). С. 27–28.
9. Кушнарера А.А., Стрельцова Н.Б. Оценка резистентности клена остролистного к загрязнению атмосферного воздуха по флуктуирующей асимметрии листьев // Международный студенческий вестник. 2015. № 2–3. С. 362–363.
10. Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Данченко М.А., Шахматов П.Ф., Скотт С.А. Изучение морфологических признаков и флуктуирующей способности листового аппарата березы повислой // Природообустройство. 2021. № 4. С. 116–122. doi: 10.26897/1997-6011-2021-4-116-122
11. Опекунова М.Г., Никулина А.Р., Смешко И.В., Кириченко В.С. Сравнительный анализ эффективности методов биоиндикации при мониторинговых исследованиях состояния окружающей среды в Санкт-Петербурге // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Т. 68. № 2. С. 331–356. doi: 10.21638/srbu07.2023.207
12. Протасова М.В., Проценко Е.П., Петрова И.В., Петров С.С., Сабр С.Ф. Использование методов биоиндекса при исследовании экологического состояния городской среды // Экология. 2019. № 3. С. 136–140. doi: 10.24411/1816-1863-2019-13136
13. Собчак Р.О., Афанасьева Т.Г., Копылов М.А. Оценка экологического состояния рекреационных зон методом флуктуирующей асимметрии листьев *Betula pendula Roth* // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 368. С. 195–199.
14. Рунова Е.М., Гнаткович П.С. Экологическая оценка рекреационных зон города Братска методом флуктуирующей асимметрии березы повислой // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 223–227.
15. Тищенко С.А. Оценка состояния рекреационных территорий Ростова-на-Дону с использованием метода флуктуирующей асимметрии // VIII Международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». 2017. С. 418–422.
16. Кобланова С.А. Фитомониторинг состояния рекреационных зон г. Костаная методом флуктуирующей асимметрии на примере тополя бальзамического (*Populus balsamifera*) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2019. Т. 18. № 1. С. 508–510. doi: 10.14258/pbssm.2019106
17. Козлов М.В. Исследования флуктуирующей асимметрии растений в России: мифология и методология // Экология. 2017. № 1. С. 3–12. doi: 10.7868/S0367059717010103
18. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

19. Наумова А.А., Стрельцов А.Б. Методика оценки степени флуктуирующей асимметрии листовых пластинок на примере березы повислой (бородавчатой) (*Betula pendula* Roth.) // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet». 2020. № 3. С. 303–311.

20. Дымышкова А.В., Левашова А.А. Использование методов биоиндикации в оценке состояния окружающей среды на примере почвы и атмосферного воздуха // Вестник Курганского государственного университета. 2015. № 4 (38). С. 53–55.

References

1. Zakharov VM, Baranov AS, Borisov VI, Valetsky AV, Kryazheva NG, Chistyakova EK, et al. *Zdorov'e sredy: metodika otsenki* [Environmental health; assessment methodology]. Moscow; 2000. (In Russ.).

2. Palmer AR, Strobeck C. Fluctuating asymmetry as a measure of developmental stability: implications of non-normal distributions and power of statistical tests. *Acta Zool Fenn.* 1992;191:57–72.

3. Ramza SS, Grechneva AN. Integral express assessment of environmental quality based on fluctuating asymmetry of silver birch leaf blade (*Betula pendula* Roth). *Student Scientific Forum: conference proceedings.* 2014. p.22–26. (In Russ.).

4. Savintseva LS, Egoshina TL, Shiryayev VV. The estimation of urban environment quality on the basis of analyses of *Betula pendula* Roth. development stability. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Science.* 2012;(2):31–37. (In Russ.).

5. Belyaeva YV. Indicators fluctuating asymmetry *Betula pendula* Roth. in the conditions of anthropogenic impact (illustrated Togliatti). *Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2013;15(3–7):2196–2200. (In Russ.).

6. Lugovskaya LA, Zemlyakova AV, Mezkhova LA, Lugovskoy AM. Assessment of state for the environment fluctuating asymmetry of *Quercus robur* L. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences.* 2016;(18):87–94. (In Russ.).

7. Korotchenko IS. Bioindication of pollution of districts of Krasnoyarsk in size of the fluctuating asymmetry of the sheet plate of Siberian elm. *Bulletin of KrasSAU.* 2015;(11):67–72. (In Russ.).

8. Maksimovich MO, Zaitseva AS. Fluctuating asymmetry as a way to assess the ecological state of the environment. Comparative characteristics of leaves of European white elm and common aspen as an indicator of the environment. *Byulleten' Severnogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta.* 2017;(2):27–28. (In Russ.).

9. Kushnareva AA, Streltsova NB. Assessment of resistance of holly maple to atmospheric air pollution by fluctuating asymmetry of leaves. *International Student Scientific Bulletin.* 2015;(2–3):362–363. (In Russ.).

10. Kabanova SA, Kabanov AN, Danchenko MA, Shahmatov PF, Scott SA. Study of morphological features and fluctuating ability of the leaf apparatus of the silver birch. *Environmental Engineering.* 2021;(4):116–122. (In Russ.). doi: 10.26897/1997-6011-2021-4-116-122

11. Opekunova MG, Nikulina AR, Smeshko IV, Kirichenko VS. Comparative analysis of the effectiveness of bioindication methods in monitoring environmental studies in St. Petersburg. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences.* 2023;68(2):331–356. (In Russ.). doi: 10.21638/spbu07.2023.207

12. Protasova MV, Protsenko EP, Petrova IV, Petrov SS, Sabr SF. The use of bioindication methods in the study of the ecological state of the urban environment. *Ekologia.* 2019;(3):136–140. (In Russ.). doi: 10.2441 / 1816-1863-2019-13136

13. Sobchak RO, Afanasyeva TG, Kopylov MA. Evaluation of recreation areas ecological state by method of *Betula pendula* Roth. leaves fluctuating asymmetry *Tomsk State University Journal.* 2013;(368):195–199. (In Russ.).

14. Runova EM, Gnatkovich PS. Ecological estimation of recreational areas by city of Bratsk fluctuating asymmetry silver birch. *Fundamental research.* 2013;(11–2):223–227. (In Russ.).

15. Tishchenko SA. Assessment of the state of Rostov-on-Don recreational territories using fluctuating asymmetry method. *Ecological problems. A look into the future: Conference proceedings.* 2017. p.418–422. (In Russ.).

16. Koblanova SA. Phytomonitoring of the state of recreational zones in Kostanay using fluctuating asymmetry method on *Populus balsamifera*. *Problems of botany of South Siberia and Mongolia.* 2019;18(1):508–510. (In Russ.). doi: 10.14258/pbssm.2019106

17. Kozlov MV. Plant studies on fluctuating asymmetry in Russia: mythology and methodology. *Ekologia.* 2017;(1):3–12. (In Russ.). doi: 10.7868/S0367059717010103

18. Alekseev VA. Diagnostics of the vital state of trees and stands. *Russian Journal of Forest Science.* 1989;(4):51–57. (In Russ.).

19. Naumova AA, Streltsov AB. Methodology for evaluating the degree of a fluctuating asymmetry of sheet lamps on the example of single birch (waterfishing) (*Betula pendula* Roth.). *StudNet.* 2020;3(3):303–311. (In Russ.).

20. Dymshakov AV, Levashova AA. Using methods bioindication in environmental assessment, for example soil and air. *Bulletin of Kurgan State University.* 2015;(4):53–55. (In Russ.).

Об авторах:

Кабанова Светлана Анатольевна — кандидат биологических наук, доцент, заведующая отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: kabanova.05@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3117-7381 SPIN-код: 3897-4757

Кочегаров Игорь Сергеевич — младший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021704, Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: garik_0188@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1185-5218, SPIN-код: 8313-4687

Кабанов Андрей Николаевич — аспирант кафедры биологических наук, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36; старший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: 7058613132@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5479-3689 SPIN-код: 9628-4453

Данченко Матвей Анатольевич — кандидат географических наук, доцент, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36; e-mail: mtd2005@sibmail.com

ORCID: 0000-0002-5974-9556 SPIN-код: 8209-8687

Шахматов Павел Федорович — младший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: cektop-aral@mail.ru SPIN-код: 5473-5866

Борцов Валерий Анатольевич — младший научный сотрудник, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени А.Н. Букейхана, 021700, Республика Казахстан, г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: bortsov_1969@mail.ru SPIN-код: 5324-2516

Скотт Сабина Артуровна — аспирант биологических наук, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, д. 36; доцент микробиологических наук, Общественный колледж штата Колумбус, 43015, Соединенные Штаты Америки, штат Огайо, г. Колумбус, ул. Спринг, д. 550 Е; e-mail: sscott73@csc.edu

ORCID: 0000-0002-2029-8938 SPIN-код: 8377-3899

About authors:

Kabanova Svetlana Anatolyevna — Candidate of Biological Sciences, Associate professor, Head of the Department of Reforestation and Afforestation, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: kabanova.05@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3117-7381 SPIN: 3897-4757

Kochegarov Igor Sergeevich — Junior researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: garik_0188@mail.ru

ORCID: 0000-0003-1185-5218 SPIN: 8313-4687

Kabanov Andrey Nikolayevich — Senior researcher, PhD student, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: 7058613132@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5479-3689 SPIN: 9628-4453

Danchenko Matvey Anatolyevich — Candidate of Geographical Sciences, Associate professor, National Research Tomsk State University, 36 Lenina ave., Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: mtd2005@sibmail.com

ORCID: 0000-0002-5974-9556 SPIN: 8209-8687

Shakhmatov Pavel Fedorovich — Junior researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: cektop-aral@mail.ru SPIN: 5473-5866

Bortsov Valery Anatolyevich — Junior researcher, A.N. Bukeikhan Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58 Kirova st., Shchuchinsk, 021700, Republic of Kazakhstan; e-mail: bortsov_1969@mail.ru SPIN: 5324-2516

Scott Sabina Arturovna — PhD student, National Research Tomsk State University, 36 Lenina ave., Tomsk, 634050, Russian Federation; Assistant Professor, Columbus State Community College, 550 E Spring Street, Columbus, Ohio, USA, 43015; e-mail: sscott73@csc.edu

ORCID: 0000-0002-2029-8938 SPIN: 8377-3899



Veterinary science Ветеринария

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-165-175
EDN: AYIMKC
UDC 616

Research article / Научная статья

The role of Wnt and Shh signaling systems in noggin-induced tumorigenesis

Andrei N. Mardaryev¹ , Nikita S. Mardaryev² ,
Nataliya V. Mardaryeva³  , Nadezda V. Schiptsova³ 

¹University of Bradford, *Bradford, United Kingdom*

²Kazan State Medical University, *Kazan, Russian Federation*

³Chuvash State Agrarian University, *Cheboksary, Russian Federation*

 volga480@yandex.ru

Abstract. The cross-interaction between BMP, Wnt and Shh signalling pathways in developing epithelial skin tumours remains poorly understood. To study the role of Wnt and Shh signalling pathways in tumour development upon BMP inhibition, we utilized a transgenic mouse model, overexpressing BMP antagonist noggin in the skin epithelium and leading to the development of hair follicle-derived tumours shortly after birth. Comparative gene and protein expression analyses revealed up-regulation of Wnt and Shh signalling systems in the skin of transgenic mice at various stages of follicular tumour development. Furthermore, recombinant BMP-4 suppresses the expression of Shh in the culture of tumor cells, while pharmacological inhibitors of Wnt and Shh significantly slow down the formation and development of tumors in noggin-expressing transgenic mice. These results enhance our knowledge about the role of growth factors in carcinogenesis and may lead to finding new targets for specific therapies for oncological diseases.

Keywords: signaling pathways of BMP, noggin, tumors, skin, transgenic mice

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

© Mardaryev A.N., Mardaryev N.S., Mardaryeva N.V., Shchiptsova N.V., 2024



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

Article history: Received: 20 July 2022. Accepted: 13 November 2023.

For citation: Mardaryev AN, Mardaryev NS, Mardaryeva NV, Shchiptsova NV. The role of Wnt and Shh signaling systems in noggin induced tumorigenesis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):165–175. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-165-175

Introduction

Recent studies have increasingly pointed to the role of disorders in the intracellular transmission of the BMP signal in the development of tumors in different organs, including the skin. The most convincing data on the importance of bone morphogenetic proteins (BMP) in carcinogenesis were obtained in the genetic study of syndromes with familial forms of cancer [1]. Germinative mutations of BMPR-1A (Alk3) have also been found in Cowden syndrome [2]. Moreover, aberrations in the BMP signaling pathway were also found in the study of most (more than 85 %) sporadic cancer processes in humans. However, the role of BMP in carcinogenesis is quite complex, both pro- and anti-tumor effects have been described [3, 4]. Despite the enormous progress made in determining the functional significance of BMP in carcinogenesis over the past decade, little is known about the molecular mechanisms involving the BMP signaling pathway in skin carcinogenesis.

Wnt and Shh signaling pathways are necessary for normal development and postnatal remodeling of the skin [5]. However, their aberrant activation leads to several epithelial tumors, including squamous cell carcinoma and basal cell carcinoma of the skin [6–11]. Thus, it can be assumed that the cross-interaction between BMP, Wnt and Shh signaling pathways in developing epithelial skin tumors.

The aim of the study is to investigate the impact of the BMP antagonist Noggin on BMP's anti-tumor activity in skin tumor development. This will be achieved by using a transgenic mouse model that overexpresses Noggin in keratinocytes. The study will focus on observing dynamic changes in skin tumor development, performing a comparative analysis of the expressions of key components of Wnt and Shh signaling systems in the transgenic mice at various stages of skin tumor development. We will also look at the expression of the stem cell markers in the developing tumors. As noted in our previous works, the activity of stem cells necessary for maintaining the cellular identity and differentiation into specialized cell types is controlled by BMP and polycomb (PcG) proteins, which perform the function of transcriptional repressors [12–16].

Materials and methods

1. *Animal experiments* were conducted according to protocols approved by the University of Bradford (license PPL 40/2989). The mice were in shared cages with a 12-hour light period and free water and food access. A transgenic mouse line (TG) overexpressing noggin, a BMP antagonist, was produced by cloning mouse noggin cDNA into a genetic construct under the control of Keratin promoter 14 (K14) [17].

FVB mice from Charles River Company were used as controls (WT). To study the role of noggin overexpression in the early stages of follicular tumor development, back skin samples were taken from TG and WT mice at the following time points: 0, 4, 10, 14, 20, 24, 28, 32, 36, 40 days of postnatal ontogenesis (P0 — P40, respectively), as well as at 12 and 24 weeks. Five-seven TG and age-matched WT control mice were selected for each indicated time point. Skin samples were immediately frozen in liquid nitrogen and embedded in Tissue-Tek, O.S.T. 4583 Compound (Sakura, USA) with subsequent storage at -80°C .

To induce skin tumors, a two-stage chemical carcinogenesis protocol was employed using a carcinogen 7,12-dimethylbenz[a]anthracene (DMBA) (Sigma-Aldrich) and a tumor promoter 12-tetradecanoyl-phorbol-13-acetate (TPA) (Sigma-Aldrich). The back skin of 8-week-old female TG and WT mice ($n = 5$ for each mouse strain) was shaved and treated with a single dose of DMBA ($250\ \mu\text{g}/\text{ml}$) followed by a twice-per week application of TPA ($40\ \mu\text{g}/\text{ml}$) for 15 weeks. Tumor progression was observed up to 25 weeks. The size and number of tumors were measured.

Wnt antagonist Aptosyn ($4\ \text{mg}/\text{kg}$; OSI Pharmaceuticals, USA) and Shh inhibitor Cyclopamine ($100\ \mu\text{g}/\text{kg}$; Tocris, USA) were used to study the role of Wnt and Shh signaling pathways in trichofolliculoma development. TG mice ($n = 24$) received daily subcutaneous injections of Aptosyn or Cyclopamine in the dorsal area from day P10 to P28 of the postnatal life. The skin was collected for histological and morphometric analyses. Based on the morphology, HF-derived tumors were divided into several groups: stage 1—small tumors ($< 60\ \mu\text{m}$ in diameter) arising from the HF outer root sheath, stage 2—medium-sized tumors ($60\text{...}120\ \mu\text{m}$ in diameter), stage 3—single large tumors ($>120\ \mu\text{m}$ in diameter), stage 4—multiple large tumors with epithelioid cyst containing keratinized substance in the center. The percentage of the HFs with tumors at the distinct stages of development was assessed in the Aptosyn (P19) and Cyclopamine-treated (P21 and P28) groups versus vehicle control. These data were combined and statistically analyzed using an unpaired Student's t-test using GraphPad Prism 6 statistical software.

2. *Isolation and culture of K14-noggin trichofolliculoma cells.* Large visible tumors were dissected from the skin of five 4–6 month-old TG mice and minced with scissors in the growth medium (William's E medium supplemented with 10 % FBS), followed by treatment with Collagenase/Dispase (Roche, $1\ \text{mg}/\text{ml}$) for 1 h at $+37^{\circ}\text{C}$. Single-cell suspension of tumor cells was prepared by filtering the minced tumor tissue through a $70\text{-}\mu\text{m}$ nylon mesh (Becton Dickinson), followed by centrifugation for 3 min at $100\times g$, and resuspension with fresh growth medium. Cells were seeded onto collagen-coated P60 plates and cultured at $+33^{\circ}\text{C}$ with 8 % CO_2 until 80...90 % confluency. The tumor cells were treated with either $200\ \text{ng}/\text{ml}$ BMP4 alone, $200\ \text{ng}/\text{ml}$ BMP4 and $500\ \text{ng}/\text{ml}$ Noggin (R&D Systems), or vehicle control for 24 hours. Cells were processed for total RNA and protein isolation.

3. *RNA isolation and Quantitative RT-PCR.* Total RNA was isolated with TRIZOL reagent (Invitrogen) according to the manufacturer's protocol. For cDNA synthesis, $1\ \mu\text{g}$ of the total RNA was used with SuperScript III First-Strand Synthesis System (Invitrogen), and $0.5\ \mu\text{l}$ of the synthesized cDNA was used for gene expression analysis

in the reaction mixture containing 1x iQ SYBR Green Supermix (Bio-Rad) and 0.5 μ M forward and reverse primers. qRT-PCR was performed using MyiQ Single-Color Real-Time PCR Detection System (Bio-Rad). PCR primers were designed with Beacon Designer software (Premier Biosoft International; Table 1). For each gene of interest, $\Delta\Delta C_t$ method was employed to calculate relative gene expression using *Gapdh* as a reference gene. qRT-PCR was performed in triplicates, and data were pooled and presented as mean \pm SEM. Statistical analysis was performed using unpaired Student's t-test using GraphPad Prism 6 statistical software.

Table 1

List of PCR primers

Accession Number	Sequence Definition	Sense/Anti-sense Primers
NM_009170	Sonic hedgehog (<i>Shh</i>)	CATTCCTCTCCTGCTATGCTCCTG ATGACAAAGTGGCGGTTACAAAGC
NM_011915	Wnt inhibitory factor 1 (<i>Wif1</i>)	CCACCTGAATCCAATTACATC TGAACAGCATTGAAACATCC

4. Immunofluorescent analysis was performed on skin cryosections (9 μ m) fixed in acetone (10 mins at -20°C) or 4 % PFA (10 mins at room temperature). Sections were incubated with primary AB (Table 2) at $+4^{\circ}\text{C}$ overnight, followed by corresponding FITC- and TRITC-labeled secondary AB (Jackson ImmunoResearch) for 1hr at $+37^{\circ}\text{C}$. Cell nuclei were visualized with 4'6'-Diamidino-2-phenylindol (DAPI). Images were acquired using Nikon Eclipse epi-fluorescent microscope in combination with SPOT digital camera and image analysis software (Diagnostic Instruments).

Table 2

List of primary antibodies

Anigen	Host	Dilution	Manufacturer
β -Catenin	Mouse	1:100	Sigma
Lef1	Rabbit	1:100	R&D Systems Inc
Lhx2	Goat	1:250	Santa-Cruz Biotechnology
Sox9	Rabbit	1:200	Santa-Cruz Biotechnology
Wif1	Goat	1:1000 (Tyramideamplification)	R&D Systems Inc.
Wnt10b	Goat	1:100	R&D Systems Inc.

5. RNA in situ hybridization was performed on tissue cryosections (9 μ m) as previously described [18]. DIG-labeled RNA probes for the detection *Ccnd1* and *Ccnd2* were kindly provided by Prof. A. Dlugosz (Department of Dermatology and Comprehensive Cancer Center, University of Michigan, USA).

Results and Discussion

Overexpression of BMP antagonist noggin in mouse skin leads to tumors arising from hair follicle outer root sheath, which resemble human trichofolliculoma morphologically (fig. 1, A, B). To test whether BMP inhibition in the epidermis affects the development of chemically-induced skin tumors, WT and TG mice were treated with a chemical carcinogen DMBA. In TG mice, the first papillomas emerged as early as six weeks after DMBA treatment (fig. 1, D), while WT mice developed the skin tumours much later, by 11 weeks of the treatment (fig. 1, C). Moreover, TG mice showed an over 5-fold increase in the total number of skin tumours in TG compared to WT mice by the end of the experiment (fig. 1, D, C). These data demonstrate that BMP inhibition increases susceptibility to skin carcinogenesis.

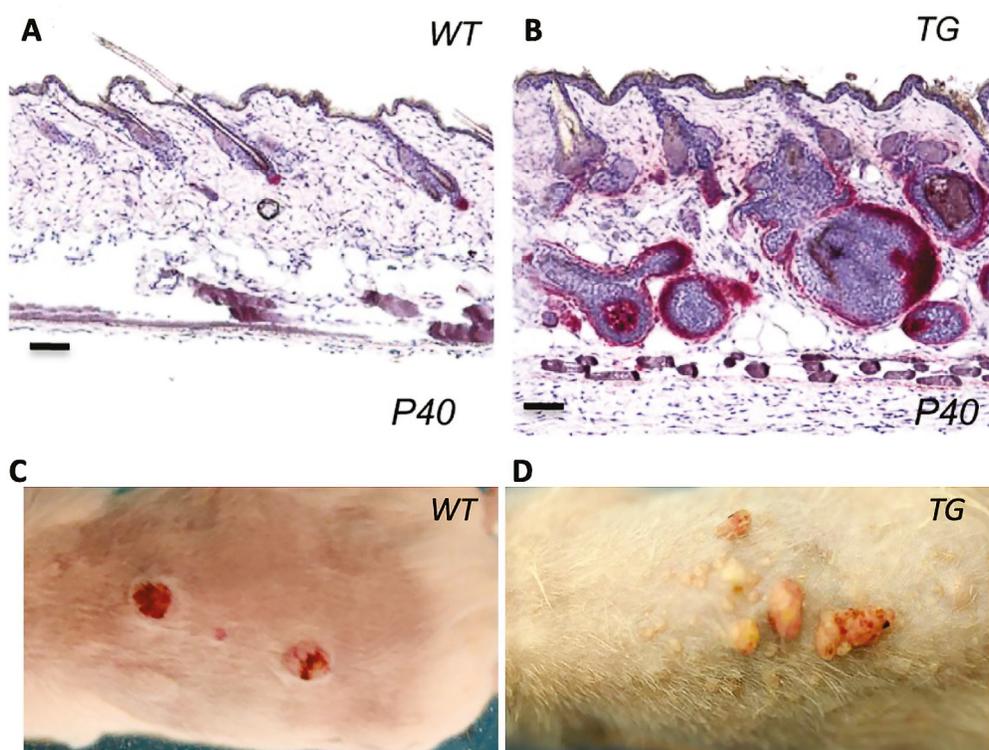


Fig. 1. Developing hair follicle-derived tumors in transgenic mice overexpressing BMP antagonist noggin in the skin: A, B – Hematoxylin/Alkaline Phosphatase staining of skin sections from TG and WT mice at P40, scale bar – 200 μ m; C, D – macroscopic images of the back skin showing chemically-induced skin tumors in WT and TG mice following 20 weeks of DMBA/TPA treatment

Source: made by authors

We performed immunofluorescent and quantitative RT-PCR analyses to probe into molecular mechanisms of the trichofolliculoma development in K14-noggin mice. The immunofluorescence analysis revealed an increased Wnt10b, Lef1, and β -catenin protein expression at the early stages of follicular tumor development (tumor placodes) in TG mice, whereas their expression is markedly reduced in the developed tumors (fig. 2, A–C).

These data indicate that activation of the Wnt signaling pathway is associated with tumor initiation upon BMP inhibition. Interestingly, the immunofluorescent analysis revealed that most tumor placode cells also express stem cell markers such as Lhx2, and Sox9 (fig. 2, C, D). This finding may suggest that the hair follicle stem cells in the bulge region initiate tumor growth upon noggin overexpression. It is known that under normal conditions, activation of the Wnt signaling pathway occurs in the early phase of anagen when the hair follicle stem cells actively divide to fuel new hair growth [19]. It can be assumed that the mechanism of initiation of K14-Noggin tumors has much in common with the regeneration of the hair follicle during the hair cycle and includes activation of the Wnt signaling system. On the other hand, the expression of the Wif1, a Wnt antagonist, was not observed in tumor placodes. On the contrary, Wif1 was actively expressed in the bulge stem cell area in control mice (fig. 2, E). These data indicate the involvement of Wif1 in regulating the activity of normal stem cells and/or early progenitor cells in hair follicles. The decrease in Wif1 expression in the skin of TG mice and increased expression upon BMP4 treatment (fig. 2, F) further suggest that Wif1 is a BMP target, serving as an intermediary between BMP and Wnt signaling pathways in the skin.

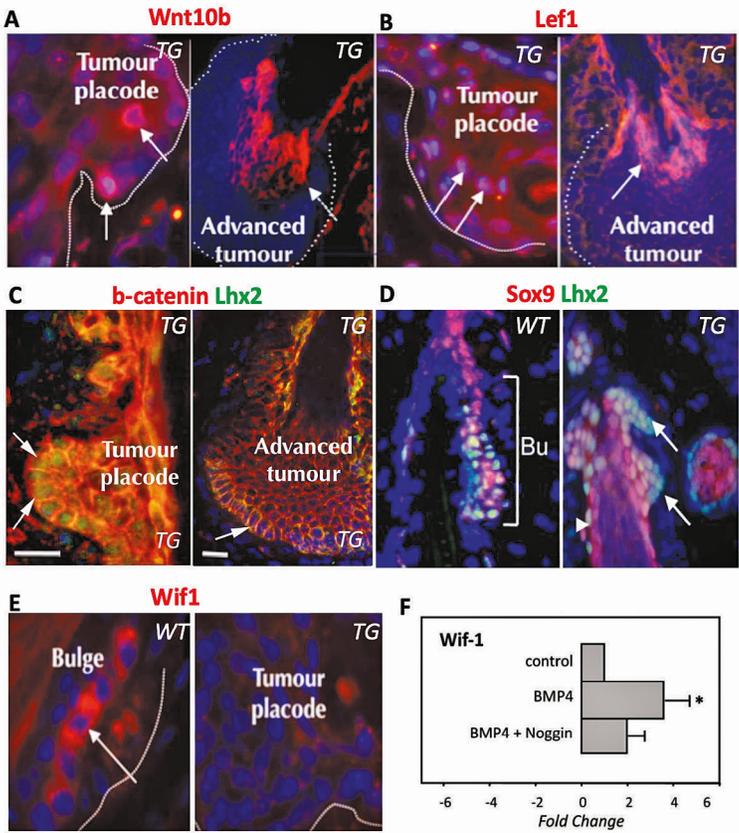


Fig. 2. Analysis of Wnt pathway components expression and stem cell markers in tumor placodes and more advanced tumors

Source: made by authors

Treatment of the K14-noggin tumor cells with BMP4 resulted in a significant decrease in *Shh* transcript expression, suggesting an antagonistic interplay between BMP and Shh pathways (fig. 3, A). For a more detailed study of the role of the Shh signaling pathway in the hair follicle tumor development in TG mice, we analysed the expression of its target genes by in situ hybridization. Transcripts for Cyclin D1 (*Ccnd1*) and Cyclin D2 (*Ccnd2*), which are known target genes of Wnt and Shh signaling pathways [20], were detected in tumor placodes, but their expression level was significantly enhanced in more developed tumors (fig. 3, B, C). Thus, these results strongly suggest that the formation of tumors in K14-Noggin mice was accompanied by activation of the Shh signaling pathway.

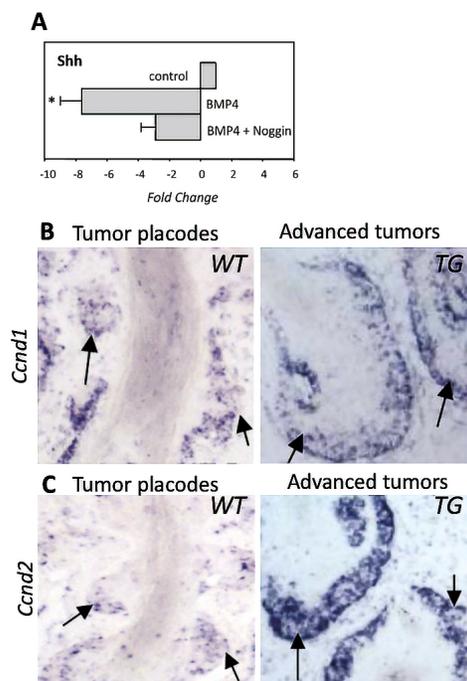


Fig. 3. Expression of *Shh* and its target genes *Ccnd1* and *Ccnd2* in noggin-overexpressing tumor cells

Source: made by authors

To elucidate the functional role of Wnt and Shh signaling pathways in the development of tumors in K14-Noggin mice, we performed a pharmacological experiment using Wnt and Shh antagonists aptisatin and cyclopamine, respectively [21, 22]. Inhibition of Wnt signaling by aptisatin resulted in a significant reduction of tumor-bearing hair follicles ($p < 0.05$) (fig. 4, A). In contrast, cyclopamine had no effect on the total number of hair follicles with developing tumors; however, there was a marked decrease in the advanced-stage tumors (stage III) (fig. 4, B). This study showed that Wnt signaling is required for tumor initiation, while the Shh pathway promotes and sustains tumor growth, possibly via increased Cyclin D1 and D2.

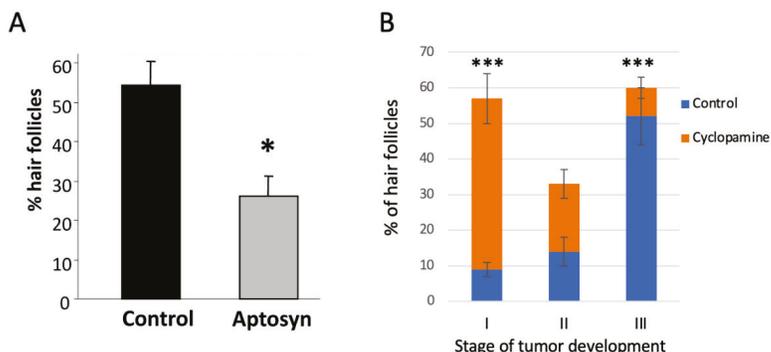


Fig. 4. The number of tumor-bearing hair follicles in mice treated with Wnt (A) and Shh (B) inhibitors
 Source: made by authors

Conclusion

The data shows that Wif1 and Shh are possible targets of BMP in developing hair follicle tumors. Furthermore, Wnt and Shh signaling pathways differentially participate in the initiation and progression of tumors when inhibiting the BMR signal. Thus, the BMP signaling pathway functions as tumor suppressor via, at least in part, antagonistically regulating Wnt and Shh pathway activities in skin epithelial cells.

References / Список литературы

- Carreira ACO, Zambuzzi WF, Rossi MC, Astorino Filho R, Sogayar MC, Granjeiro JM. Bone morphogenetic proteins: promising molecules for bone healing, bioengineering, and regenerative medicine. *Vitamins & Hormones*. 2015;99:293–322. doi: 10.1016/bs.vh.2015.06.002
- Zhou XP, Woodford-Richens K, Lehtonen R, Kurose K, Aldred M, Hampel H, et al. Germline mutations in *BMPRIA/ALK3* cause a subset of cases of juvenile polyposis syndrome and of Cowden and Bannayan-Riley-Ruvalcaba syndromes. *Am J Hum Genet*. 2001;69:704–711.
- Sun L. Tumor-suppressive and promoting function of transforming growth factor beta. *Frontiers in Bioscience*. 2004;9:1925–1935.
- Hsu MY, Rovinsky S, Penmatcha S, Herlyn M, Muirhead D. Bone morphogenetic proteins in melanoma: angel or devil? *Cancer and Metastasis Reviews*. 2005;24:251–263. doi: 10.1007/s10555-005-1575-y
- Fuchs E. Scratching the surface of skin development. *Nature*. 2007;445:834–842. doi: 10.1038/nature05659
- Gat U, DasGupta R, Degenstein L, Fuchs E. De Novo hair follicle morphogenesis and hair tumors in mice expressing a truncated beta-catenin in skin. *Cell*. 1998;95(5):605–614. doi: 10.1016/S0092-8674(00)81631-1
- Grachtchouk M, Mo R, Yu S, Zhang X, Sasaki H, Hui C, et al. Basal cell carcinomas in mice over expressing *Gli2* in skin. *Nature Genetics*. 2000;24:216–217. doi: 10.1038/73417
- Hutchin ME, Kariapper MST, Grachtchouk M, Wang A, Wei L, Cummings D, et al. Sustained Hedgehog signaling is required for basal cell carcinoma proliferation and survival: conditional skin tumorigenesis recapitulates the hair growth cycle. *Genes Dev*. 2005;19:214–223. doi: 10.1101/gad.1258705
- Niemann C, Owens DM, Hulsken J, Birchmeier W, Watt FM. Expression of ΔN Lef1 in mouse epidermis results in differentiation of hair follicles into squamous epidermal cysts and formation of skin tumors. *Development*. 2003;129(1):95–109. doi: 10.1242/dev.129.1.95
- Oro AE, Higgins KM, Hu Z, Bonifas JM, Epstein EHJ, Scott MP. Basal cell carcinomas in mice overexpressing sonic hedgehog. *Science*. 1997;276:817–821. doi: 10.1126/science.276.5313.817

11. Yang Z, Ellis T, Markant S, Read T, Kessler J, Bourboulas M, et al. Medulloblastoma can be initiated by deletion of *Patched* in lineage-restricted progenitors or stem cells. *Cancer Cell*. 2008;14:135–145. doi: 10.1016/j.ccr.2008.07.003

12. Mardaryev AN, Mardaryeva NV. The role of cbx4 in regulation of wound healing in mice. In: *Scientific-educational environment as a basis for the development of agroindustrial complex social infrastructure of the village: conference proceedings*. Cheboksary; 2016. p.305–310.

Мардарьев А.Н., Мардарьева Н.В. Роль cbx4 в заживлении кожных ран у мышей // Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса и социальной инфраструктуры села. Чебоксары, 2016. С. 305–310.

13. Mardaryev AN, Mardaryeva NV, Larionov GA. The role of Cbx7 in regulation of keratinocyte migration during wound healing in mice. *Vestnik Chuvash SAU*. 2017;(3):56–62.

Мардарьев А.Н., Мардарьева Н.В., Ларионов Г.А. Роль Cbx7 в регуляции миграции кератиноцитов при заживлении кожных ран у мышей // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 3. С. 56–62.

14. Mardaryev AN, Mardaryeva NV. Polycomb protein Cbx7 controls proliferation of keratinocytes in mouse skin. In: *Biologization of agriculture — the basis of reproduction of soil fertility: conference proceedings*. Cheboksary; 2018. p.171–178.

Мардарьев А.Н., Мардарьева Н.В. Контроль поликомбного белка Cbx7 в пролиферации кератиноцитов в мышинной коже // Биологизация земледелия – основа воспроизводства плодородия почвы. Чебоксары, 2018. С. 171–178.

15. Mardaryev AN, Mardaryeva NV, Larionov GA, Gordova VS. Dynamics of Cbx7 Expression in the Epidermis after Wounding of the Skin. *Russian journal of physiology*. 2019;105(4):456–464. doi: 10.1134/S0869813919040034

Мардарьев А.Н., Мардарьева Н.В., Ларионов Г.А., Гордова В.С. Роль белка Cbx7 в процессах регенерации поврежденного эпидермиса // Российский физиологический журнал им. ИМ Сеченова. 2019. Т. 105. № 4. С. 456–464. doi: 10.1134/S0869813919040034

16. Mardaryev AN, Mardaryeva NV, Larionov GA. BMP of signaling path in the development of skin tumors. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2019;(1):57–61. doi: 10.18286/1816-4501-2019-1-57-61

Мардарьев А.Н., Мардарьева Н.В., Ларионов Г.А. Сигнальный путь ВМР в развитии опухолей кожи // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1 (45). С. 57–61. doi: 10.18286/1816-4501-2019-1-57-61

17. Mardaryev AN, Mardaryeva NV. The identification of molecular mechanisms of involvement of BMP in the development of skin tumors. In: *Scientific educational and applied aspects of production and processing of agricultural products: conference proceedings*. Cheboksary; 2018. p.313–320.

Мардарьев А.Н., Мардарьева Н.В. Выявление молекулярных механизмов вовлечения сигнального пути ВМР в развитии опухолей кожи // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Чебоксары, 2018. С. 313–320.

18. Sharov AA, Sharova TY, Mardaryev AN, Tommasi di Vignano A, Atoyán R, et al. Bone morphogenetic protein signaling regulates the size of hair follicles and modulates the expression of cell cycle-associated genes. *PNAS*. 2006;103(48):18166–18171. doi: 10.1073/pnas.060889910

19. Tucker AS, Headon DJ, Courtney JM, Overbeek P, Sharpe PT. The activation level of the TNF family receptor, Edar, determines cusp number and tooth number during tooth development. *Dev Biol*. 2004;268:185–194. doi: 10.1016/j.ydbio.2003.12.019

20. Van Mater D, Kolligs F, Dlugosz A, Fearon E. Transient activation of beta-catenin signaling in cutaneous keratinocytes is sufficient to trigger the active growth phase of the hair cycle in mice. *Genes Dev*. 2003;17:1219–1224. doi: 10.1101/gad.1076103.

21. Katoh M. Networking of WNT, FGF, Notch, BMP, and Hedgehog signaling pathways during carcinogenesis. *Stem Cell Rev*. 2007;3:30–38. doi: 10.1007/s12015-007-0006-6

22. Athar M, Tang X, Lee JL, Kopelovich L, Kim AL. Hedgehog signaling in skin development and cancer. *Exp Dermatol*. 2006;15(9):667–677. doi: 10.1111/j.1600-0625.2006.00473.x

About authors:

Mardaryev Andrei Nikolaevich — PhD, Associate Professor, Centre for Skin Sciences, University of Bradford, Richmond Road, Bradford, West Yorkshire, BD7 1DP, United Kingdom; e-mail: A. Mardaryev@bradford.ac.uk ORCID: 0000-0002-7826-5506 SPIN: 2645-6478

Mardaryev Nikita Sergeevich — student, Kazan State Medical University, 49 Butlerova st., Kazan, Republic of Tatarstan, 420012, Russian Federation; e-mail: nikitamardaryev@yandex.ru

ORCID: 0009-0006-3723-2616 SPIN: 8791-1497

Mardaryeva Nataliya Valerievna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Biotechnology and Processing of Agricultural Products, Chuvash State Agrarian University, 29 Karla Marksa st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428003, Russian Federation; e-mail: volga480@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7863-7245 SPIN: 5663-0732

Schiptsova Nadezda Varsonofevna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Chuvash State Agrarian University, 29 Karla Marksa st., Cheboksary, Chuvash Republic, 428003, Russian Federation; e-mail: shipnavars@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7575-6297 SPIN: 4486-9698

Роль сигнальных систем Wnt и Shh в ноггин-индуцированном туморогенезе

А.Н. Мардарьев¹ , Н.С. Мардарьев² ,
Н.В. Мардарьева³  , Н.В. Щипцова³ 

¹Университет Брэдфорда, г. Брэдфорд, Великобритания

²Казанский государственный медицинский университет, г. Казань, Российская Федерация

³Чувашский государственный аграрный университет, г. Чебоксары, Российская Федерация

 volga480@yandex.ru

Аннотация. Взаимодействие между сигнальными путями BMP, Wnt и Shh при развитии эпителиальных опухолей кожи остается малоисследованным. Для изучения роли Wnt и Shh в развитии опухолей кожи мы использовали трансгенную мышиную модель, экспрессирующую ноггин (антагонист BMP) в эпителии кожи и приводящую к развитию опухолей волосяных фолликулов. Сравнительный анализ экспрессии генов и белков показал повышение активности сигнальных систем Wnt и Shh в коже трансгенных мышей на различных стадиях развития фолликулярных опухолей. Кроме того, рекомбинантный BMP-4 подавляет экспрессию Shh в культуре опухолевых клеток, в то время как фармакологические ингибиторы Wnt и Shh значительно замедляют формирование и развитие опухолей у трансгенных мышей, экспрессирующих ноггин. Эти результаты расширяют наши знания о роли факторов роста в канцерогенезе и могут привести к нахождению новых мишеней для специфических терапий онкологических заболеваний.

Ключевые слова: сигнальные пути BMP, ноггин, опухоли, кожа, трансгенные мыши

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

История статьи: поступила в редакцию 20 июля 2022 г., принята к публикации 13 ноября 2023 г.

Для цитирования: Mardaryev A.N., Mardaryev N.S., Mardaryeva N.V., Schiptsova N.V. The role of Wnt and Shh signaling systems in noggin induced tumorigenesis // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С.165–175. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-165-175

Об авторах:

Мардарьев Андрей Николаевич — кандидат наук, доцент, Центр по изучению кожи, Университет Брэдфорда, BD7 1DP, Великобритания, Западный Йоркшир, Брэдфорд, Ричмонд-Роуд; e-mail: A. Mardaryev@bradford.ac.uk

ORCID: 0000-0002-7826-5506 SPIN-код: 2645-6478

Мардарьев Никита Сергеевич — студент, Казанский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 420012, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49; e-mail: nikitamardarjev@yandex.ru
ORCID: 0009-0006-3723-2616 SPIN-код: 8791-1497

Мардарьева Наталия Валерьевна — кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биотехнологий и переработки сельскохозяйственной продукции, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, д. 29; e-mail: volga480@yandex.ru
ORCID 0000-0001-7863-7245 SPIN-код: 5663-0732

Щипцова Надежда Варсонофьевна — кандидат биологических наук, доцент, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, Российская Федерация, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Карла Маркса, д. 29; e-mail: shipnavars@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7575-6297 SPIN-код: 4486-9698



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-176-191

EDN: ARVFBX

УДК 619/568.2+612/579

Научная статья / Research article

Механизм формирования и становления продуктами пчеловодства микробиоты кишечника здоровых и больных кандидамикозами птиц

Р.Р. Шайхулов , Р.Т. Маннапова  ✉, Д.В. Свистунов 

Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация
✉ ram.mannapova55@mail.ru

Аннотация. Кандидамикозы наносят существенный ущерб птицеводству. Летальность у молодняка достигает 95...100 %. Цель исследования — оптимизация степени формирования и становления колонизационной резистентности кишечника под влиянием биологически активных продуктов пчеловодства (БАПП) и изучение характера его восстановления на фоне кандидамикозов пищеварительного тракта (КПТ) птиц. Исследования проведены на перепелах мясной японской породы, с 10- до 90-суточного возраста. Все изученные продукты пчеловодства: ЭВМ, ЭТГ и ЭП — экстракты восковой моли, трутневого гомогената и прополиса — способствуют стабилизации у здоровых перепелов, разводимых в неволе, скрытых генетически заложенных механизмов естественного микробиоценоза кишечника, без нанесения ущерба для самого организма, восстановлению баланса нормофлоры и условно патогенных микроорганизмов до физиологических значений. Однако часто выявляемый при разведении птиц постоянный комплекс стрессорирующих факторов, связанных с условиями содержания, кормления, проведения ветеринарных и зоотехнических мероприятий, приводит к значительной активизации *Candida albicans* в толстом отделе кишечника, с последующим развитием КПТ, глубоких дисбактериозов, характеризующихся усиленным размножением и повышением содержания условно-патогенных микроорганизмов: *Candida albicans* — в 8,34 раза, *Staphylococcus aureus* — в 4,37 раза, *Pseudomonas spp.* — в 3,29 раза; затормаживанием размножения и снижением уровня нормофлоры: *Lactobacillus spp.* — в 6,0, *Bifidobacterium spp.* — в 7,25 раза. Применение ЭВМ, ЭТГ и ЭП на фоне кандидамикозов способствовали восстановлению микробиоценоза кишечника перепелов, что проявлялось: а) в снижении уровня условно-патогенных *Candida albicans* — в 3,3; 4,61 и 3,97; *Staphylococcus aureus* — в 4,0; 7,78 и 4,5; *Pseudomonas spp.* — в 3,05; 5,32 и 3,96 раза; б) в активизации и повышении содержания нормофлоры: *Lactobacillus spp.* в 6,38; 10,0 и 8,84; *Bifidobacterium spp.* — в 5,36; 8,42 и 7,5 раза.

Ключевые слова: экстракт, восковая моль, трутневый гомогенат, прополис, естественный микробиоценоз, *Candida albicans*, *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas spp.*

© Шайхулов Р.Р., Маннапова Р.Т., Свистунов Д.В., 2024



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. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи: поступила в редакцию 7 ноября 2023 г., принята к публикации 9 января 2024 г.

Для цитирования: Шайхулов Р.Р., Маннапова Р.Т., Свистунов Д.В. Механизм формирования и становления продуктами пчеловодства микробиоты кишечника здоровых и больных кандидамикозами птиц // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 1. С. 176–191. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-176-191

Influence of bee products on intestinal microbiota formation in healthy birds and birds with candidiasis

Pustem R. Shaykhulov^{ID}, Ramsiya T. Mannapova^{ID}✉, Dmitriy V. Svistunov^{ID}

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

✉ ram.mannapova55@mail.ru

Abstract. Candidamycolosis causes significant damage to the poultry industry. Mortality rate in young birds reaches 95...100 %. The aim of the study was to optimize formation and intestinal colonization resistance under the influence of biologically active bee products (BABP) and the features of recovery in birds infected with candidamycolosis of digestive tract (CDT). Studies were carried out on Japanese meat 10-day-old to 90-day-old quails. All the studied beekeeping products — extracts of wax moth, drone homogenate and propolis — contribute to the stabilization of the hidden genetically laid down mechanisms of natural intestinal microbiocenosis in healthy quails bred in captivity, without causing damage to the body, restoring the balance of normoflora and opportunistic pathogenic microorganisms to physiological values. However, a constant complex of stressors encountered during bird breeding, associated with the conditions of keeping, feeding, veterinary and zootechnical measures, lead to a significant activation of *Candida albicans* in large intestine, with the subsequent development of candidiasis of digestive tract, deep dysbacterioses, characterized by increased reproduction and increase in the content of opportunistic pathogenic microorganisms: *Candida albicans* — by 8.34 times, *Staphylococcus aureus* — by 4.37 times, *Pseudomonas* spp. — by 3.29 times; inhibition of reproduction and decrease in the level of normoflora: *Lactobacillus* spp. — by 6.0 times, *Bifidobacterium* spp. — by 7.25 times. The use of extracts of wax moth, drone homogenate and propolis in candidamycolosis-infected birds contributed to restoration of quail intestinal microbiocenosis, which was manifested by: a) decrease in the level of opportunistic pathogenic *Candida albicans* — by 3.3; 4.61 and 3.97 times; *Staphylococcus aureus* — by 4.0; 7.78 and 4.5 times; *Pseudomonas* spp. — by 3.05; 5.32 and 3.96 times; b) activation and increase of normoflora: *Lactobacillus* spp. — by 6.38; 10.0 and 8.84 times; *Bifidobacterium* spp. — by 5.36; 8.42 and 7.5 times.

Keywords: extract, wax moth, drone homogenate, propolis, natural microbiocenosis, *Candida albicans*, *Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp., *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas* spp.

Conflict of interests. The authors declare that they have no conflict of interests.

Article history: Received: 7 November 2023. Accepted: 9 January 2024.

For citation: Shaykhulov PR, Mannapova RT, Svistunov DV. Influence of bee products on intestinal microbiota formation in healthy birds and birds with candidiasis. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(1):176–191. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-1-176-191

Введение

Биологически активные продукты пчеловодства (БАПП), обладающие разносторонней биологической активностью, имеющие оптимальный химический состав, привлекают внимание ученых и исследователей. В литературе имеются сведения по изучению влияния на биологические показатели организма и продуктивность птиц прополиса, маточного молочка, перги, подмора пчел [1], но исследования экстракта восковой моли (ЭВМ), трутневого гомогената пчел (ЭТГ) являются единичными и требуют глубокого научного анализа [2, 3].

Экстракты трутневого гомогената и восковой моли служат источником витаминов, в т. ч. А, D, E и группы В, минералов (К, Na, Ca, Fe, Mg, Zn, Mn, Cu, I, P, Ni, Co, Cr, и др.), белков (более 30 аминокислот, в т. ч. все незаменимые), протеаз, липаз, нуклеотидов, полиненасыщенных жирных кислот класса омега 3, 6, деценовой кислоты, стероидных гормонов, серотонина. Уникальный химический состав, сочетание компонентов, исключая антагонизм, благодаря переработке ферментами мандибулярных желез пчел, определяют их разностороннюю биологическую активность, свойства и экологичность, в отличие от традиционных химически синтезированных препаратов [4–10].

С другой стороны, в птицеводстве стали часто регистрировать кандидамикозы пищеварительного тракта (КПТ). Мы провели всесторонние исследования КПТ на гусях и установили, что КПТ приводят к глубоким иммунодефицитам, дисбактериозам, изменениям ферментативной и биохимической активности печени и поджелудочной железы, морфофункциональным перестройкам в центральных и периферических органах иммуногенеза, ультраструктурным перестройкам в гепатоцитах печени [11–12]. КПТ перепелов малоизучены, они возникают внезапно и завершаются летально в 90...100 % случаях.

Разведение перепелов приобретает популярность и высокий спрос, ибо перепелиное мясо и яйца являются диетическими, сбалансированными по жировому и белковому составу. Но на фоне нарушения колонизационной резистентности при развитии КПТ перепелов в толстом отделе кишечника активизируется размножение условно-патогенных *Candida albicans*. Это связано с усилением у *C. albicans* факторов вирулентности: изменений в механизмах адгезии, синтеза протеолитических ферментов, ингибирования факторов естественной защиты (АЛФА, АИГА, АЛА, АКА), трансформация в гифальную форму с псевдомицелием, образование биопленок [13–16].

С учетом высокой биологической активности экстрактов восковой моли, трутневого гомогената и прополиса, **целью исследования** стала оптимизация степени формирования и становления колонизационной резистентности кишечника под влиянием этих продуктов пчеловодства и определение характера его восстановления на фоне КПТ птиц.

Материал и методы исследования

Исследования проводились в лабораториях кафедры пчеловодства и аквакультуры, микробиологии и иммунологии РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева. Опыты ставили на перепелах мясной японской породы, в количестве 280 гол., которых

инкубировали в птичнике университета. Птиц содержали в клеточных батареях БВМ-Ф-4Ц для молодняка. Освещенность, T , °С, влажность в помещении, плотность посадки, тип кормления соответствовали рекомендациям Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства. Птицы 1 группы служили контролем — здоровые (без включения в рацион БАПП). Перепела групп 2, 3 и 4 — здоровые, с включением в рацион БАПП. В рацион птиц группы 2 вводили ЭВМ (расчет: 70 капель на 35 птиц, растворив в 350 мл воды), группы 3 — ЭТГ (расчет: 35 гранул на 35 птиц, растворив в 350 мл воды), группы 4 — экстракт прополиса (ЭП — настойка прополиса на 70° этиловом спирте разводится из расчета 5 мл на 1000,0 мл воды). ЭП готовится из расчета: 3,5 мл разведенной настойки прополиса на 35 птиц, растворив в 350 мл воды.

Выпаивание экстрактов БАПП во группах 2, 3 и 4 проводили ежедневно в течение 30 сут., внося суточную дозу 1 раз в день в поилки с питьевой водой. Перепела групп 5–8 были больны КПП. В рацион птиц группы 5, как и 1 контрольной, БАПП не вносили. Больным КПП перепелам птиц группы 6 вносили ЭВМ, группы 7 — ЭТГ, группы 8 — ЭП, удвоив выше представленную суточную дозу и выпаивая 2 раза в день с питьевой водой, утром и днем.

Выделение лактобактерий проводили в микроанаэрозоле на классической среде МРС с использованием *GasPak Anaerobic System*. Бифидобактерии выделяли на среде Блаурокка. Для культивирования *Candida albicans* использовали агар Сабуро с хлорамфениколом 2 (фирма Biomerieux). Для точного определения вида *Candida albicans* его идентифицировали масс-спектрометрическим методом на MALDI Biotyper (в ФГОУ НМЦ гематологии Минздрава России). Также идентификацию *Candida albicans* проводили с использованием системы API-System S.A. В последующих рядовых сериях опытах ДПП культивировали на среде Сабуро со стрептомицином (100 ЕД/л). Чистую культуру клинических штаммов ДПП выделяли на хромогенной среде Никерсона.

Цифровой материал подвергнут статистической обработке методами вариационной статистики с использованием программ Statistica 6.1 и приложения Excel из пакета MS Office 2007.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты исследования изменений в содержимом толстого отдела кишечника здоровых и больных КПП перепелов условно-патогенных *Candida albicans* приведены в табл. 1. Уровень *Candida albicans* в кишечнике птиц 1 контрольной группы не имел существенных отклонений по периодам опыта. До 30 сут. исследований их значение колебалось в пределах от 3,36 до 3,78 lgКОЕ/г. На 60-е сутки опыта, по сравнению с предыдущим сроком исследований (30-е сут.), содержание кандид в контроле снизилось в 1,33 и 1,6 раза, что показывает стабилизацию их уровня в здоровом организме перепелов в возрастном аспекте. БАПП оказывали, даже в сравнении с контрольными данными, выраженное действие на степень снижения кандид в кишечнике перепелов в сторону физиологических значений. К 60-м

и 90-м суткам уровень кандид в кишечнике птиц группы 2 снизился по сравнению с контролем в 1,24 и 1,09 раза соответственно. Более выраженное действие на степень восстановления содержания *Candida albicans* оказывало применение ЭТГ (группа 3) и ЭП (группа 4). Показатели этих групп к 60-м суткам были ниже, чем в контроле в 1,32 и 1,21 раза, на 90-е сутки — в 1,25 и 1,11 раза.

КПТ перепелов, не подвергнутых лечебным манипуляциям (5 группа), сопровождалась активным размножением кандид, прогрессирующим по срокам опыта. Здесь уже к началу опытов их содержание превысило показатель здоровых птиц 1-й группы в 1,88 раза.

Таблица 1

Динамика в толстом отделе кишечника *Candida albicans* под влиянием БАПП на здоровых и больных КПТ перепелов, lg КОЕ/г

Сроки опыта сут. (возраст)	Статистический показатель	Группы: 1–5 – здоровые, 5–8 – больные КПТ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		КЗ	ЭВМ	ЭТГ	ЭП	КПТ	КПТ+ЭВМ	КПТ+ЭТГ	КПТ+ЭП
Фон (10)	М	3,42	3,18	2,74	2,98	6,42	5,18	3,24	4,26
	±m	0,09	0,07	0,30	0,20	0,39	0,41	0,29	0,43
	Сv.%	2,6	2,2	10,9	6,7	6,0	7,9	8,9	10,0
10 (20)	М	3,78	3,46	2,56	3,12	9,14	7,48	4,12	4,92
	±m	0,10	0,10	0,29	0,23	0,46	0,49	0,33	0,34
	Сv.%	2,6	2,8	11,3	7,3	5,0	6,5	8,0	6,9
	P		*	*	**	**	**	***	***
20 (30)	М	3,36	3,24	2,46	2,94	12,8	6,14	5,02	5,76
	±m	0,03	0,05	0,24	0,12	1,89	0,64	0,49	0,38
	Сv.%	0,9	1,5	9,7	4,1	14,7	10,4	9,7	6,6
	P		*	***	**	***	**	***	***
30 (40)	М	3,52	3,00	2,20	3,19	16,2	9,22	6,34	7,10
	±m	0,12	0,11	0,41	0,10	2,11	1,56	1,01	1,12
	Сv.%	3,4	3,6	18,6	3,1	13,0	16,9	15,9	15,7
	P		**	**	*	***	**	***	***
60 (70)	М	2,64	2,12	2,00	2,18	18,6	8,40	5,06	5,96
	±m	0,02	0,05	0,05	0,02	1,32	1,45	0,79	0,89
	Сv.%	0,7	2,4	2,5	0,9	7,0	17,2	15,6	14,9
	P		*	*	*	***	***	***	***
90 (100)	М	2,42	2,02	1,76	1,90	20,20	6,12	4,38	5,08
	±m	0,09	0,11	0,19	0,18	1,31	0,91	0,57	0,28
	Сv.%	3,7	5,4	10,8	9,5	6,5	14,8	13,0	5,5
	P		*	**	**	***	***	***	***

Примечание. * – P ≥ 0,95; ** – P ≥ 0,99; *** – P ≥ 0,999; КЗ – контроль – здоровые; КПТ – кандидамикозы пищеварительного тракта; экстракты: ЭВМ – восковой моли; ЭТГ – трутневого гомогената; ЭП – прополиса

Table 1

Dynamics of *Candida albicans* in large intestine of healthy and CDT-infected quails under the influence of biologically active bee products, lg CFU/g

Length of experiment, days (age)	Statistic indicator	Groups: 1–5 – healthy, 5–8 – infected with CDT							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		CH	EWM	EDH	EP	CDT	CDT + EWM	CDT + EDH	CDT + EP
Background (10)	M	3.42	3.18	2.74	2.98	6.42	5.18	3.24	4.26
	±m	0.09	0.07	0.30	0.20	0.39	0.41	0.29	0.43
	Cv.%	2.6	2.2	10.9	6.7	6.0	7.9	8.9	10.0
10 (20)	M	3.78	3.46	2.56	3.12	9.14	7.48	4.12	4.92
	±m	0.10	0.10	0.29	0.23	0.46	0.49	0.33	0.34
	Cv.%	2.6	2.8	11.3	7.3	5.0	6.5	8.0	6.9
	P		*	*	**	**	**	***	***
20 (30)	M	3.36	3.24	2.46	2.94	12.8	6.14	5.02	5.76
	±m	0.03	0.05	0.24	0.12	1.89	0.64	0.49	0.38
	Cv.%	0.9	1.5	9.7	4.1	14.7	10.4	9.7	6.6
	P		*	***	**	***	**	***	***
30 (40)	M	3.52	3.00	2.20	3.19	16.2	9.22	6.34	7.10
	±m	0.12	0.11	0.41	0.10	2.11	1.56	1.01	1.12
	Cv.%	3.4	3.6	18.6	3.1	13.0	16.9	15.9	15.7
	P		**	**	*	***	**	***	***
60 (70)	M	2.64	2.12	2.00	2.18	18.6	8.40	5.06	5.96
	±m	0.02	0.05	0.05	0.02	1.32	1.45	0.79	0.89
	Cv.%	0.7	2.4	2.5	0.9	7.0	17.2	15.6	14.9
	P		*	*	*	***	***	***	***
90 (100)	M	2.42	2.02	1.76	1.90	20.20	6.12	4.38	5.08
	±m	0.09	0.11	0.19	0.18	1.31	0.91	0.57	0.28
	Cv.%	3.7	5.4	10.8	9.5	6.5	14.8	13.0	5.5
	P		*	**	**	***	***	***	***

Note. * – $P \geq 0.95$; ** – $P \geq 0.99$; *** – $P \geq 0.999$; CH – control – healthy; CDT – candidiasis of the digestive tract; EWM – extract of wax moth; EDH – extract of drone homogenate; EP – extract of propolis

На 10, 20, 30, 60, 90-е сутки эта тенденция нарастала и уровень *Candida albicans* в толстом отделе кишечника птиц 5 группы увеличился, по сравнению с данными контроля, в 2,41; 3,8; 4,6; 7,04 и 8,34 раза. Применение ЭВМ способствовало умеренному уменьшению активности размножения *Candida albicans* в кишечнике больных перепелов. Их уровень снизился по сравнению с данными птиц группы 5, по 6-й группе, к началу исследований (фон), затем на 10, 20, 30, 60, 90-е сутки — в 1,24; 1,22; 2,08; 1,75; 2,21; 3,3 раза. Более выраженное снижение уровня *Candida albicans* отмечалось в группе 7 на фоне внесения в рацион больных птиц ЭТГ. На эти сроки опыта уровень *Candida albicans* в кишечнике птиц 7-й группы был ниже, по сравнению с данными больных, не подвергнутых лечению, птиц 5-й группы, соответственно в 2,21; 2,55; 2,55; 3,67 и 4,61 раза. Незначительно ниже по активности действия на кандид, по сравнению с данными перепелов группы 7,

были показатели птиц группы 8, в которой применяли экстракт прополиса. Здесь уровень *Candida albicans* был ниже, по сравнению с показателями больных птиц 5-й группы на эти же сроки исследований, в 1,87; 2,22; 2,28; 3,12; 3,97 раза. Таким образом применение БАПП способствовало предупреждению и профилактике активизации *Candida albicans* в организме здоровых перепелов и особенно выражено — восстановлению их уровня на фоне КПТ.

Активизация *Candida albicans* в организме здоровых перепелов групп 1–4 и особенно их бурная реакция на фоне развития КПТ у птиц групп 5–8 способствовали нарушению в толстом отделе кишечника перепелов баланса нормофлоры: лактобацилл и бифидобактерий.

Прослежена динамика изменения содержания *Lactobacillus spp.* в толстом отделе кишечника перепелов под влиянием разных БАПП на рис. 1. Содержание *Lactobacillus spp.* в толстом отделе кишечника птиц 1-й контрольной группы до 30 сут. опыта не имело заметных колебаний в возрастном аспекте. Все исследованные БАПП в разной степени активности способствовали повышению уровня *Lactobacillus spp.* в толстом отделе кишечника здоровых перепелов.

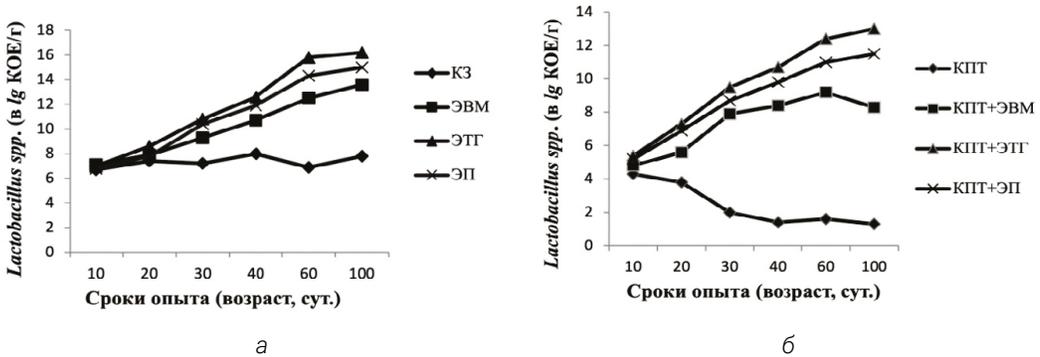


Рис. 1. Динамика в толстом отделе кишечника *Lactobacillus spp.* под влиянием БАПП на здоровых (а) и зараженных КПТ (б) перепелов, lg KOE/г

Источник: сделано авторами

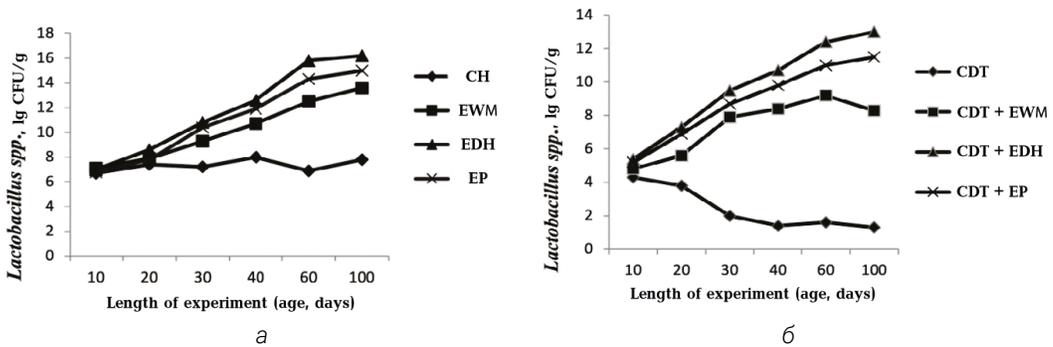


Fig. 1. Dynamics of *Lactobacillus spp.* in large intestine of healthy (a) and CDT-infected (б) quails under the influence of BABP, lg CFU/g

Source: created by the authors

На фоне применения ЭВМ уровень лактобацилл увеличился в кишечнике перепелов 2-й группы, по сравнению с его значением у птиц 1-й контрольной группы, к 10, 20, 30, 60 и 90 сут. — в 1,06; 1,29; 1,34; 1,81; 1,74 раза.

Самого высокого значения уровень лактофлоры достиг в толстом отделе кишечника перепелов 3-й группы, в которой в состав рациона добавляли ЭТГ. Разница в сторону превышения (см. рис. 1, б), в сравнении с контрольными показателями, составила на 10, 20, 30, 60 и 90-е сутки опыта в 1,16; 1,5; 1,57; 2,28 и 2,07 раза (на 16,2; 50,0; 57,5; 128,9; 107, 6 %).

Незначительно ниже, по степени активности, усиление размножения в толстом отделе кишечника *Lactobacillus spp.* проявлялось под действием прополиса (4-я группа). В этой группе уровень лактобацилл увеличился, по сравнению с показателями птиц 1-й контрольной группы, на эти сроки опыта — в 1,05; 1,44; 1,48; 2,07 и 1,92 (на 5,4; 44,4; 48,7; 107,2; 92,3 %).

На фоне развития КПП в толстом отделе кишечника перепелов нарушался баланс лактобацилл, развивались вторичные дисбактериозы (см. рис. 1, б). Уровень *Lactobacillus spp.* был снижен, по сравнению с показателями здоровых птиц 1-й контрольной группы, к началу опытов (фон) в 1,56 раза. В последующие сроки исследований этот процесс прогрессировал, что было связано с активизацией кандид в кишечнике и нарушением баланса между нормофлорой и условно-патогенными микроорганизмами. На 10, 20, 30, 60 и 90-е сутки уровень *Lactobacillus spp.* в кишечнике перепелов 5 группы уступал показателям птиц 1-й контрольной группы в 1,94; 3,6; 5,71; 4,31 и 6,0 раз. При этом внесение БАПП в рацион перепелов опытных групп 6, 7 и 8 способствовало активизации размножения лактобацилл в кишечнике птиц, параллельно с их активным снижением в кишечнике больных и не леченных птиц 5-й группы.

Уровень *Lactobacillus spp.* в кишечнике перепелов 6-й группы под влиянием ЭВМ уже к началу опыта имел тенденцию к повышению — 1,11 раза. В последующие сроки опыта (10, 20, 30, 60 и 90 сут.) этот процесс нарастал, по сравнению с контрольным уровнем больных птиц 5-й группы — в 1,47; 3,95; 6,00; 5,75 и 6,38 раза. Более активное увеличение содержания в кишечнике лактофлоры отмечалось на фоне применения ЭТГ (7-я группа) — в 1,92; 4,75; 7,64; 7,75; 10,0 раз. Показателям перепелов 7-й группы незначительно уступали данные птиц 8-й группы, в которой использовали БАПП — прополис. Здесь на те же сроки опыта уровень *Lactobacillus spp.* увеличился в 1,81; 4,35; 7,00; 6,87 и 8,84 раза.

Подобным образом в кишечнике перепелов изменялась динамика содержания бифидобактерий (табл. 2), которые у птиц 1-й контрольной группы за период опытов выделялись на уровне от 8,0 до 11,6 lg КОЕ/г, увеличиваясь в возрастном аспекте, что связано с физиологическим становлением микробиоценоза кишечника. Но значения этих показателей по всему периоду опытов в данной группе были несколько занижены. Применение БАПП способствовало, в разной степени активности, проявлению скрытых физиологических возможностей организма перепелов по восстановлению бифидофлоры.

Таблица 2

Динамика *Bifidobacterium* spp. в толстом отделе кишечника здоровых и больных КПТ перепелов под влиянием БАПП, lg КОЕ/г

Сроки опыта, сут. (возраст)	Стат. показатель	Группы: 1–5 – здоровые, 5–8 – больные КПТ							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		КЗ	ЭВМ	ЭТГ	ЭП	КПТ	КПТ+ЭВМ	КПТ+ЭТГ	КПТ+ЭП
Фон (10)	M	8,0	10,0	12,0	11,2	6,0	7,05	9,60	8,10
	±m	0,12	0,41	0,35	0,22	0,35	0,22	0,57	0,65
	Cv.%	1,5	4,1	4,1	1,9	5,8	3,1	5,9	8,0
10 (20)	M	9,2	11,4	14,4	13,0	5,2	9,44	12,80	11,30
	±m	0,45	0,30	0,65	0,60	0,22	1,22	1,78	0,97
	Cv.%	4,8	2,6	4,5	4,6	4,2	12,9	13,9	8,6
	P		***	***	***	***	**	***	***
20 (30)	M	8,7	12,7	16,3	14,9	3,4	9,92	13,28	12,42
	±m	0,45	0,44	0,75	0,75	0,12	0,86	0,77	1,21
	Cv.%	5,2	3,4	4,6	5,0	3,5	8,6	5,8	9,7
	P		***	***	***	***	***	***	***
30 (40)	M	9,9	13,6	18,0	16,3	2,7	8,50	14,00	12,7
	±m	0,65	0,60	0,73	0,45	0,30	0,76	1,86	1,09
	Cv.%	6,5	4,4	4,0	2,7	11,1	8,9	13,3	8,6
	P		***	***	***	***	***	***	***
60 (70)	M	10,4	14,9	21,3	18,7	1,9	10,2	16,0	14,4
	±m	0,30	0,55	0,80	0,73	0,25	1,03	1,86	0,98
	Cv.%	2,8	3,7	3,7	3,9	13,1	10,1	11,6	6,8
	P		***	***	***	***	***	***	***
90 (100)	M	11,6	16,4	20,8	18,9	1,6	7,26	13,3	10,9
	±m	0,40	0,65	0,60	0,83	0,20	0,67	0,97	0,84
	Cv.%	3,5	3,9	2,9	4,4	12,5	9,2	7,3	7,7
	P		***	***	***	***	***	***	***

Примечание. * – P ≥ 0,95; ** – P ≥ 0,99; *** – P ≥ 0,999; КЗ – контроль – здоровые; КПТ – кандидамикозы пищеварительного тракта; экстракты: ЭВМ – восковой моли; ЭТГ – трутневого гомогената; ЭП – прополиса.

Table 2

Dynamics of *Bifidobacterium* spp. in large intestine of healthy and CDT-infected quails under the influence of biologically active bee products, lg CFU/g

Length of experiment, days (age)	Statistic indicator	Groups: 1–5 – healthy, 5–8 – infected with CDT							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		CH	EWM	EDH	EP	CDT	CDT + EWM	CDT + EDH	CDT + EP
Background (10)	M	8.0	10.0	12.0	11.2	6.0	7.05	9.60	8.10
	±m	0.12	0.41	0.35	0.22	0.35	0.22	0.57	0.65
	Cv.%	1.5	4.1	4.1	1.9	5.8	3.1	5.9	8.0
10 (20)	M	9.2	11.4	14.4	13.0	5.2	9.44	12.80	11.30
	±m	0.45	0.30	0.65	0.60	0.22	1.22	1.78	0.97
	Cv.%	4.8	2.6	4.5	4.6	4.2	12.9	13.9	8.6
	P		***	***	***	***	**	***	***

Length of experiment, days (age)	Statistic indicator	Groups: 1–5 – healthy, 5–8 – infected with CDT							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		CH	EWM	EDH	EP	CDT	CDT + EWM	CDT + EDH	CDT + EP
20 (30)	M	8.7	12.7	16.3	14.9	3.4	9.92	13.28	12.42
	±m	0.45	0.44	0.75	0.75	0.12	0.86	0.77	1.21
	Cv.%	5.2	3.4	4.6	5.0	3.5	8.6	5.8	9.7
	P		***	***	***	***	***	***	***
30 (40)	M	9.9	13.6	18.0	16.3	2.7	8.50	14.00	12.7
	±m	0.65	0.60	0.73	0.45	0.30	0.76	1.86	1.09
	Cv.%	6.5	4.4	4.0	2.7	11.1	8.9	13.3	8.6
	P		***	***	***	***	***	***	***
60 (70)	M	10.4	14.9	21.3	18.7	1.9	10.2	16.0	14.4
	±m	0.30	0.55	0.80	0.73	0.25	1.03	1.86	0.98
	Cv.%	2.8	3.7	3.7	3.9	13.1	10.1	11.6	6.8
	P		***	***	***	***	***	***	***
90 (100)	M	11.6	16.4	20.8	18.9	1.6	7.26	13.3	10.9
	±m	0.40	0.65	0.60	0.83	0.20	0.67	0.97	0.84
	Cv.%	3.5	3.9	2.9	4.4	12.5	9.2	7.3	7.7
	P		***	***	***	***	***	***	***

Note. * – $P \geq 0.95$; ** – $P \geq 0.99$; *** – $P \geq 0.999$; CH – control – healthy; CDT – candidiasis of the digestive tract; EWM – extract of wax moth; EDH – extract of drone homogenate; EP – extract of propolis.

Разница в содержании бифидофлоры в толстом отделе кишечника птиц групп 2–4 и 1-й контрольной проявлялась уже в фоновом показателе. Выраженные изменения в сторону повышения уровня *Bifidobacterium spp.* в кишечнике перепелов начинались с 10-х суток опыта — в 1,22; 1,56; 1,41 раза. В последующие сроки опыта процесс активизации бифидофлоры по группам и по срокам исследований продолжался и достиг своего максимума к 60-м суткам исследований — в 1,43; 2,05 и 1,79 раза. К 90-м суткам опыта этот процесс затормозился, что было связано с физиологической стабилизацией их содержания в возрастном аспекте. В целом применение исследованных БАПП для здоровых перепелов играло значительную роль в становлении и формировании содержания *Bifidobacterium spp.* в толстом отделе кишечника птиц.

Кандидамикозы пищеварительного тракта значительно нарушили баланс бифидобактерий в толстом отделе кишечника. У больных КПП и не леченных перепелов 5-й группы, по срокам исследований, отмечалось значительное затормаживание активности размножения бифидофлоры в толстом отделе кишечника. Этот процесс прогрессировал по срокам исследований и к 10, 20, 30, 60 и 90-м суткам содержание *Bifidobacterium spp.* в кишечнике птиц 5-й группы было ниже, чем у перепелов 1-й группы в 1,76; 2,55; 3,66; 5,47; 7,25 раза соответственно. Это свидетельствовало о полном нарушении баланса бифидобактерий в толстом отделе кишечника перепелов на фоне развития КПП [15].

Применение в группах 6, 7 и 8 БАПП на фоне развития КПТ у перепелов способствовало значительному восстановлению баланса бифидофлоры на фоне активизации *Candida albicans* в организме птиц. На 10-е сутки от начала исследований уровень *Bifidobacterium spp.* в толстом отделе кишечника перепелов групп 6, 7 и 8 превысил показатель больных КПТ птиц 5-й группы в 1,81; 2,46; 2,21 раза, на 20-е сутки — 2,91; 3,9; 3,65 раза, на 30-е — в 3,86; 5,18 и 4,7 раза, на 60-е — в 5,36; 8,42 и 7,5 раза, на 90-е — в 4,53; 8,31 и 6,81 раза. В целом все исследованные БАПП оказывали существенное позитивное влияние на восстановление бифидофлоры в толстом отделе кишечника перепелов.

Изменение в толстом отделе кишечника перепелов баланса *Candida albicans*, *Lactobacillus spp.*, *Bifidobacterium spp.* сопровождалось изменением соотношения и других условно-патогенных микроорганизмов: *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas spp.*

Исследована динамика содержания *Staphylococcus aureus* в толстом отделе кишечника перепелов (рис. 2).

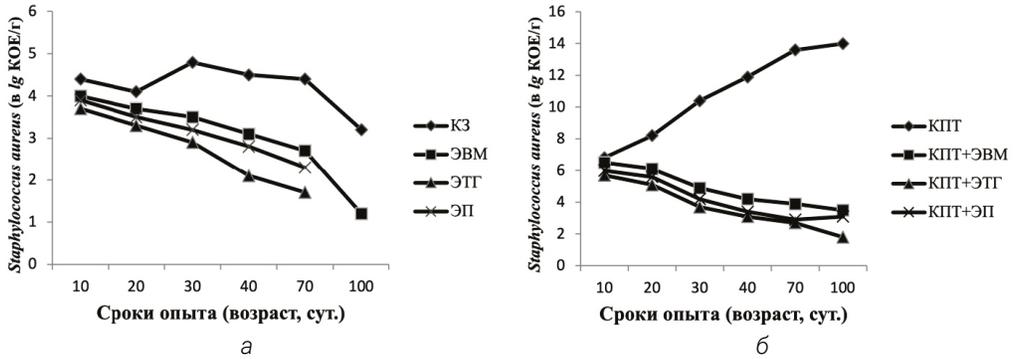


Рис. 2. Динамика в толстом отделе кишечника *Staphylococcus aureus* под влиянием БАПП на здоровых (а) и больных КПТ (б) перепелов, lg KOE/г
Источник: сделано авторами

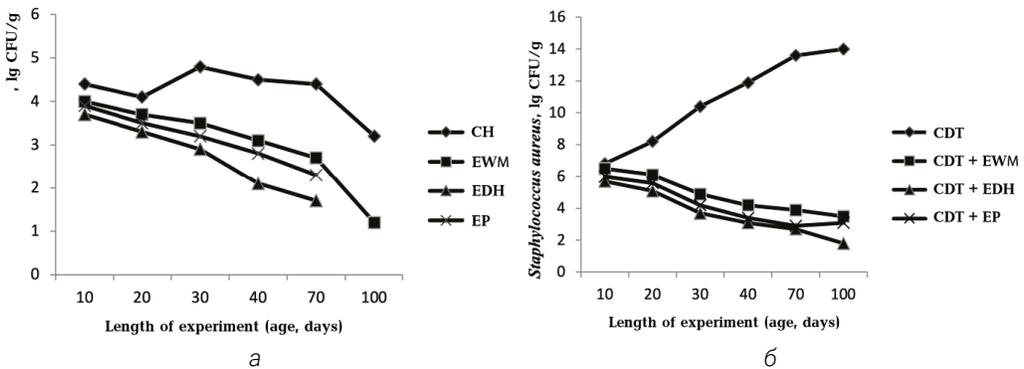


Fig. 2. Dynamics of *Staphylococcus aureus* in large intestine of healthy (a) and CDT-infected (б) quails under the influence of BABP, lg CFU/g

Source: created by the authors

У птиц 1-й контрольной группы содержание *Staphylococcus aureus* в толстом отделе кишечника было несколько повышенным и выделялось на уровне от 4,1 до 4,9 lg КОЕ/г. При этом не сохранялся баланс остальных, наиболее значимых микроорганизмов, участвующих в микробиоте кишечника. В этой связи изучение микробиоценоза кишечника перепелов очень актуально, так как от него зависит колонизационная резистентность, которая в свою очередь оказывает влияние на резистентность и иммунный статус всего организма. Использование адаптогенов в виде БАПП способствовало быстрому восстановлению баланса кишечной микрофлоры, в т. ч. и *Staphylococcus aureus*.

Уровень *Staphylococcus aureus* в кишечнике перепелов групп 2, 3, 4 по срокам опыта под влиянием БАПП постепенно снижался в сторону физиологических значений. К 10-м суткам опыта содержание стафилококков в кишечнике птиц групп 2, 3, 4 снизилось, по сравнению с контрольным показателем, в 1,1; 1,24 и 1,17 раза. Этот процесс активно продолжался и на 20-е сутки разница в сторону уменьшения количества стафилококков составила в 1,37; 1,65 и 1,5; на 30-е сутки — в 1,45; 2,14 и 1,6; на 60-е — в 1,63; 2,58 и 1,91 раза. Максимального значения данный процесс достиг на 90-е сутки исследований. Здесь уровень *Staphylococcus aureus* в кишечнике перепелов 2-й группы снизился в 3,5 раза, в кишечнике птиц групп 3 и 4 *Staphylococcus aureus* не выделялся.

Значительно активизировалось размножение *Staphylococcus aureus* в толстом отделе кишечника птиц на фоне развития КПП. Фоновый уровень *Staphylococcus aureus* в кишечнике птиц 5-й группы превысил контрольный показатель птиц 1-й группы в 1,54 раза. Процесс активизации *Staphylococcus aureus* в кишечнике птиц 5-й группы прогрессировал по срокам исследований и на 10, 20, 30, 60 и 90-е сутки опыта был выше контрольного значения в 2,0; 2,16; 2,64; 3,09 и 11,6 раза соответственно.

Все исследованные БАПП способствовали восстановлению в толстом отделе кишечника больных птиц уровня *Staphylococcus aureus*. В кишечнике перепелов групп 6, 7 и 8 содержание *Staphylococcus aureus* снизилось, по сравнению с показателями птиц 5 группы, на 10-е и 20-е сутки исследований в 1,34 и 2,12; в 1,6 и 2,81; 1,46 и 2,47 раза. В последующие сроки исследований уровень *Staphylococcus aureus* в этих группах имел тенденцию к более интенсивному снижению: на 30-е сутки опыта в 2,83; 3,84 и 3,5 раза, на 60-е — 3,48; 5,15 и 4,79 раза, к концу опыта (90-е сутки) — 4,0; 7, 78 и 4,5 раза. При этом более выраженную биологическую активность проявлял ЭТГ, незначительно уступал ему по активности ЭП и несколько ниже было действие на *Staphylococcus aureus* ЭВМ. Подобным образом изменялась в кишечнике перепелов динамика содержания *Pseudomonas spp.* (рис. 3).

Следовательно, все изученные БАПП (ЭВМ, ЭТГ и ЭП) способствуют стабилизации у перепелов, разводимых в неволе, генетически заложенных механизмов естественного микробиоценоза кишечника без нанесения ущерба для самого организма восстановлением содержания и баланса нормофлоры и условно-патогенных микроорганизмов.

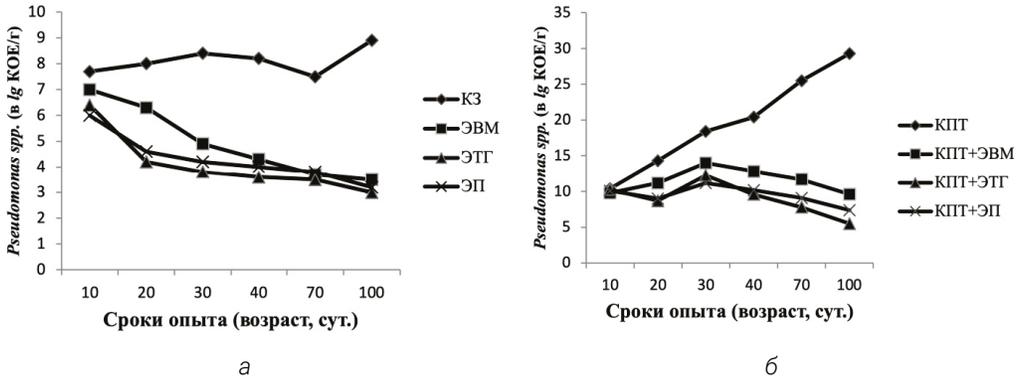


Рис. 3. Динамика в толстом отделе кишечника *Pseudomonas spp.* под влиянием БАПП на здоровых (а) и больных (б) КПТ перепелов, Ig KOE/г

Источник: сделано авторами

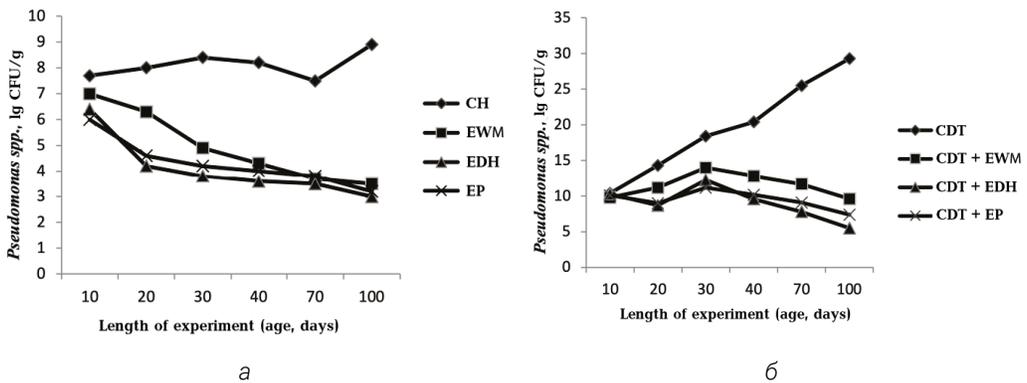


Fig. 3. Dynamics of *Pseudomonas spp.* in large intestine of healthy (a) and CDT-infected (б) quails under the influence of BABP, Ig CFU/g

Source: created by the authors

Комплекс стрессирующих факторов, встречаемых при разведении перепелов, приводит к значительной активизации *Candida albicans* в толстом отделе кишечника птиц с последующим развитием КПТ, глубоких дисбактериозов, проявляющихся нарушением баланса нормофлоры и условно-патогенных микроорганизмов, завершающихся летальным исходом молодняка.

Заключение

1. КПТ вызывают развитие в кишечнике перепелов дисбактериозов, характеризующихся:

— повышением активности размножения условно-патогенных микроорганизмов: *Candida albicans* — в 8,34 раза, *Staphylococcus aureus* — в 4,37 раза, *Pseudomonas spp.* — в 3,29 раза;

— затормаживанием размножения и снижением уровня нормофлоры: *Lactobacillus spp.* — в 6,0 раз, *Bifidobacterium spp.* — в 7,25 раза.

2. Для восстановления колонизационной резистентности больных КППТ перепелов хорошим профилактическим и терапевтическим эффектом обладают БАПП: ЭВМ, ЭТГ и ЭП, которые способствуют в толстом отделе кишечника:

— снижению уровня условно-патогенных *Candida albicans* — в 3,3; 4,61 и 3,97 раза; *Staphylococcus aureus* — в 4,0; 7,78 и 4,5 раза; *Pseudomonas spp.* — в 3,05; 5,32 и 3,96 раза;

— активизации и повышению содержания нормофлоры: *Lactobacillus spp.* — в 6,38; 10,0 и 8,84 раза, *Bifidobacterium spp.* — в 5,36; 8,42 и 7,5 раза.

Список литературы

1. Юшкова Л.Я., Бальбердин Б.Н., Донченко Н.А. Использование продуктов медоносной пчелы, ценнейшие лечебные свойства меда, воска, прополиса, перги, маточного молочка и пчелиного яда // Приоритетные и инновационные технологии в животноводстве — основа модернизации агропромышленного комплекса России: сборник научных статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф. научных сотрудников и преподавателей, Ставрополь, 25 декабря 2019 г. Ставрополь: АГРУС, 2019. С. 105–111.
2. Ефанова Н.В., Осина Л.М., Баталова С.В. Влияние трутневого гомогената на элементный и метаболический статус собак // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 2 (24). С. 58–63. doi: 10.31677/2311-0651-2019-24-2-58-63
3. Барабаш Л.В., Кремено С.В., Смирнова И.Н., Антипова И.И., Абдулкина Н.Г. Применение экстракта личинок восковой моли (*Galleria melonella*) для коррекции иммунного статуса спортсменов в восстановительном периоде // Спортивная медицина. 2018. Т. 8. № 4. С. 40–45. doi: 10.17238/ISSN2223-2524.2018.4.40
4. Галиева З.А., Миронова И.В., Захаров С.В., Худайбердиев А.А., Магомедов М.Ш. Эффективность влияния на живую массу баранчиков романовской породы трутневого гомогената // Овцы, козы, шерстяное дело. 2023. № 2. С. 51–54. doi: 10.26897/2074-0840-2023-2-51-54
5. Демина Л.Л., Гордина С.Н., Устюжанинова Л.В. Биохимический состав гомогената трутневого расплода // Общество. Наука. Инновации: сборник статей Всерос. науч.-практ. конф. Киров: Вятский государственный университет, 2017. С. 35–39.
6. Литвин Ф.Б., Брук Т.М., Терехов П.А., Прохода И.А., Никитюк Д.Б., Ключкова С.В. Влияние биологически активной добавки на основе гомогената трутневых личинок на микроциркуляцию и обмен веществ у лыжников-гонщиков // Спортивная медицина. 2018. Т. 8. № 3. С. 88–95. doi: 10.17238/ISSN2223-2524.2018.3.88
7. Муравьев Д.В., Калачинская А.М. Трутневый гомогенат и его влияние на гематологические показатели крови кур-несушек // Аграрная наука. 2015. № 8. С. 23–25.
8. Червяков Д.Э., Луцук С.Н., Ерко К.В. Трутневый гомогенат для повышения резистентности организма животных // Пчеловодство. 2019. № 10. С. 52–53.
9. Колосова С.Ф., Кутапбаева А.А., Кашкарова И.В., Алипина К.Б. Новые аспекты использования личинок восковой моли при создании биологически активных добавок // Евразийский союз ученых. 2019. № 08 (65). С. 11–14.
10. Останина Е.С., Лопатин С.А., Варламов В.П. Получение хитина и хитозана из восковой моли, *Galleria mellonella* // Биотехнология. 2007. № 3. С. 38–45.
11. Маннапова Р.Т., Шайхулов Р.Р. Реакции в В-системе иммунитета и яичная продуктивность гусынь под влиянием энзима с адаптогенами на фоне кандидамикозов // Ветеринария. 2023. № 4. С. 25–29. doi: 10.30896/0042-4846.2023.26.4.25-29
12. Маннапова Р.Т., Шайхулов Р.Р., Свистунов Д.В. Реакция основных пищеварительных ферментов поджелудочной железы на фоне развития кандидамикозов птиц // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023. № 3(51). С. 112–119.
13. Панченко А.Д., Булкина Н.В. Современные представления о патогенезе и иммунологических механизмах грибковой инфекции полости рта // Фундаментальные исследования. 2012. № 2. Ч. 2. С. 426–429.
14. Сачивкина Н.П., Ленченко Е.М., Хайтович А.Б. Оценка интенсивности биопленкообразования микро скопическими грибами рода *Candida* // Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины. 2018. Т. 8. № 3. С. 58–65.

15. Кочнева Е.В. Определение факторов патогенности грибов *Candida albicans* и их роль в развитии инфекционного процесса // Актуальные вопросы современной медицины: сборник научных трудов по итогам межвузовской конференции. Екатеринбург, 2014. С. 114–118.

16. Капустина О.А., Карташова О.Л. Факторы патогенности грибов *Candida albicans* и возможность их регуляции эфирными маслами // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2013. № 1. С. 3–9.

Referenses

1. Yushkova LY, Balyberdin BN, Donchenko NA. Use of honey bee products, valuable medicinal properties of honey, wax, propolis, bee bread, royal jelly and bee venom. In: *Priority and innovative technologies in animal husbandry — the basis for the modernization of the Russian agro-industrial complex: conference proceedings*. Stavropol; 2019. p.105–111. (In Russ.).

2. Efanova NV, Osina LM, Batalova SV. The influence of drone homogenate on the elemental and metabolic status of dogs. *Innovations and food safety*. 2019;(2):58–63. (In Russ.). doi: 10.31677/2311-0651-2019-24-2-58-63

3. Barabash LV, Kremeno SV, Smirnova IN, Antipova II, Abdulkina NG. Application of the wax moth (*Galleria melonella*) larvae extract for correction of the immune status of athletes during the recovery period. *Sports medicine: research and practice*. 2018;8(4):40–45. (In Russ.). doi: 10.17238/ISSN2223-2524.2018.4.40

4. Galieva ZA, Mironova IV, Zakharov SV, Khudaiberdiev AA, Magomedov MS. Effectiveness of the influence of drone homogenate on the live weight of Romanov young ram sheep. *Sheep, goats, wool business*. 2023;(2):51–54. (In Russ.). doi: 10.26897/2074-0840-2023-2-51-54

5. Demina LL, Gordina SN, Ustyuzhaninova LV. Biochemical composition of drone brood homogenate. In: *Society. Science. Innovation: conference proceedings*. Kirov; 2017. p.35–39. (In Russ.).

6. Litvin FB, Bruk TM, Terekhov PA, Prokhoda IA, Nikityuk DB, Klochkova SV. Effect of biologically active additives based on the homogenate of drone larvae on microcirculation and metabolism in nordic skiers. *Sports Medicine*. 2018;8(3):88–95. (In Russ.) doi: 10.17238/ISSN2223-2524.2018.3.88

7. Muravyov DV, Kalachinskaya AM. Homogenate of drones influence on hematologic indices of laying hens blood. *Agrarian Science*. 2015;(8):23–25. (In Russ.).

8. Chervyakov DE, Lutsuk SN, Erko KV. Drone homogenate to increase animal resistance. *Beekeeping*. 2019;(10):52–53. (In Russ.).

9. Kolosova SF, Kitapbaeva AA, Kashkarova IV, Alipina KB. New aspects of the use of wax moth larvae in the creation of dietary supplements. *Eurasian Union of Scientists*. 2019;(8):11–14. (In Russ.).

10. Ostanina ES, Lopatin SA, Varlamov VP. isolation of chitin and chitosan from great wax moth *Galleria mellonella*. *Biotechnology in Russia*. 2007;(3):38–45. (In Russ.).

11. Mannapova RT, Shaikhulov RR. Reactions in the B-system of immunity and the productivity of geese under the influence of an enzyme with adaptogens against the background of candidamycosis. *Veterinary medicine*. 2023;(4):25–29. (In Russ.). doi: 10.30896/0042-4846.2023.26.4.25-29

12. Mannapova RT, Shaikhulov RR, Svistunov DV. The reaction of the main digestive enzymes of the pancreas against the background of the development of candidiasis in birds. *Vestnik of Omsk SAU*. 2023;(3):112–119. (In Russ.).

13. Panchenko AD, Bulkina NV. Modern representations of pathology and immunologic mechanisms of fungoid infection in the oral cavity. *Fundamental research*. 2012;(2–2):426–429. (In Russ.).

14. Sachivkina NP, Lenchenko EM, Khaitovich AB. The intensity of biofilm formation by microscopic fungi of the genus *Candida*. *Crimean Journal of Experimental and Clinical Medicine*. 2018;8(3):58–65. (In Russ.).

15. Kochneva EV. Determination of pathogenicity factors of fungi *Candida albicans* and their role in development of infectious process. In: *Current issues of modern medicine: conference proceedings*. Екатеринбург; 2014. p.110–113. (In Russ.).

16. Kapustina OA, Kartashova OL. Pathogenic factors of *Candida* sp. and their regulation by essential oils. *Bulletin of the Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2013;(1):3–9. (In Russ.).

Об авторах:

Шайхулов Рустем Раисович — кандидат биологических наук, докторант кафедр микробиологии и иммунологии, аквакультуры и пчеловодства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: provimrb@mail.ru

ORCID: 0009-0001-6085-0811 SPIN-код: 6001-3210

Маннапова Рамзия Тимергалеевна — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры микробиологии и иммунологии, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: ram.mannapova55@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9092-9862 SPIN-код: 8353-2001

Свистунов Дмитрий Валерьевич — аспирант кафедр микробиологии и иммунологии, аквакультуры и пчеловодства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: svist.ru@mail.ru
ORCID: 0009-0008-4277-9709 SPIN-код: 4250-7506

About authors:

Shaikhulov Rustem Raisovich — Candidate of Biological Sciences, Doctoral Student, Department of Microbiology and Immunology, Department of Aquaculture and Beekeeping, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: provimirb@mail.ru

ORCID: 0009-0001-6085-0811 SPIN: 6001-3210

Mannapova Ramziya Timergaleevna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: ram.mannapova55@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9092-9862 SPIN: 8353-2001

Svistunov Dmitry Valerievich — PhD student, Department of Microbiology and Immunology, Department of Aquaculture and Beekeeping, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: svist.ru@mail.ru

ORCID: 0009-0008-4277-9709 SPIN: 4250-7506

