



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2024 Том 19 № 4

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал
Издаётся 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 «ВНИИВФит», Воронеж, РФ

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

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

Мохаммади-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

Сычев 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 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)

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.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Почтовый адрес редакции

117198, Москва, Россия, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2
Тел.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: agroj@rudn.ru

Подписано в печать 25.12.2024. Выход в свет 28.12.2024. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитуры Times, Roboto.

Усл. печ. л. 14,79. Тираж 500 экз. Заказ № 1725. 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.: +7 (495) 955-08-61; publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2024 VOLUME 19 No. 4

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4

agrojournal.rudn.ru

Founded in 2006

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

EDITOR-IN-CHIEF

Yuriy A. Vatnikov,

D.Sc. in Veterinary Medicine, Professor,
Director of Department of Veterinary
Medicine, Agrarian and Technological
Institute, RUDN University, Moscow,
Russian Federation

E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Elena N. Pakina,

D.Sc. in Biology, Director of
Agrobiotechnology Department,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation

E-mail: pakina-en@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Evgeniy V. Kulikov,

Ph.D. in Biology, Associate Professor,
Department of Veterinary Medicine,
Agrarian and Technological Institute,
RUDN University, Moscow, Russian
Federation

E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Sonia Agigi — D. Sc. in Biology, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Tamara S. Astarkhanova — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation

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. Kuzakov — 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 2312–797X (Print); 2312–7988 (Online)

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 St, 115419 Moscow, Russian Federation
Ph.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: publishing@rudn.ru

Postal Address of the Editorial Board:

8 Miklukho-Maklaya St, bldg 2, 117198 Moscow, Russian Federation
Ph.: +7 (495) 434-70-07; e-mail: publishing@rudn.ru

Printing run 500 copies. Open price

Peoples' Friendship University of Russia Named After Patrice Lumumba (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St, 117198 Moscow, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House:

3 Ordzhonikidze St, 115419 Moscow, Russian Federation
Ph.: +7 (495) 955-08-61; e-mail: publishing@rudn.ru

Содержание

Растениеводство

Бесалиев И.Н., Иванова Е.А. Формирование продуктивности колоса яровой пшеницы в условиях засушливого климата Оренбургского Приуралья 547

Гретченко А.Е., Михайлова М.П.

Применение препарата природного происхождения для повышения урожайности и качества семян сои в условиях Амурской области 566

Генетика и селекция растений

Бурсаков С.А., Карлов Г.И., Харченко П.Н. Маркерная селекция капусты белокочанной 578

Защита растений

Mohammed H.I., Shimendi G.O., Pakina E.N., Meisam Z., Gaisina E.M.

The biological effectiveness of crude propolis extract in inhibiting the growth of phytopathogens (Биологическая эффективность экстракта прополиса для замедления роста фитопатогенов) 592

Почвоведение и агрохимия

Дворников Ю.А., Мирный Л.А., Муквич Е.С., Иващенко К.В.

Картографирование запасов органического углерода в почвах различного землепользования Южного Подмосковья на основе архивных данных и машинного обучения 602

Лыбенко Е.С., Емелев С.А. Зеленая масса сортов люпина узколистного

как источник почвенного плодородия 618

Агротехнологии и мелиорация земель

Новиков А.Е., Торопов А.Ю., Поддубский А.А., Московец М.В.,

Збукарев Р.В. Мелиоративная оценка пригодности поверхностных вод водозаборной зоны Береславского водохранилища для орошения 631

Морфология и онтогенез животных

Былинская Д.С., Щипакин М.В. Пути формирования воротной вены кошки

домашней 641

Животноводство

- Yousefi M., Brigida A.V., Hoseini S.M.** Panax ginseng essential oil as a dietary additive: growth and digestive enzyme benefits for rainbow trout (Эфирное масло женьшеня обыкновенного как пищевая добавка: польза для роста и пищеварительных ферментов радужной форели) 651
- Сабирзянова Л.И.** Гематологические показатели крыс при применении кормовой добавки Protigen 659
- Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Кудрина М.А.** Влияние распределения генотипов бета-казеина в двух поколениях на показатели молочной продуктивности крупного рогатого скота холмогорской породы 669

Ветеринария

- Гончарова А.В., Атабаева Т.К., Костылев В.А.** Оценка гематологических параметров у кошек с лимфомой кишечника 685
- Люст В.А., Шейдт Г.Э.** Контроль постоперационного состояния кошек при односторонней обструкции мочеточника 696
- Olabode I.R., Sachivkina N.P., Smolentsev S.Y.** A study of blood parameters in rabbits with otitis caused by *Malassezia pachydermatis* and the effect of Farnesol on recovery rates when added to the treatment regimen (Изучение показателей крови у кроликов с отитом, вызванным *Malassezia pachydermatis*, и влияние фарнезола на показатели выздоровления при добавлении в схему лечения) 707

Contents

Crop production

Besaliev I.N., Ivanova E.A. Formation of productivity of spring wheat ear in arid climate of Orenburg Urals 547

Gretchenko A.E., Mikhailova M.P. Using natural product to reduce stress effects of herbicides in the Amur region 566

Genetics and plant breeding

Bursakov S.A., Karlov G.I., Kharchenko P.N. Marker breeding of white cabbage..... 578

Plant protection

Mohammed H.I., Shimendi G.O., Pakina E.N., Meisam Z., Gaisina E.M. The biological effectiveness of crude propolis extract in inhibiting the growth of phytopathogenic..... 592

Soil science and agrochemistry

Dvornikov Y.A., Mirniy L.A., Mukvich E.S., Ivashchenko K.V. Mapping soil organic carbon stocks of different land use types in the Southern Moscow region by applying machine learning to legacy data..... 602

Lybenko E.S., Emelev S.A. Green mass of narrow-leaved lupine varieties as a source of soil fertility 618

Agricultural technologies and land reclamation

Novikov A.E., Toropov A.Y., Poddubsky A.A., Moskovets M.V., Zbukarev R.V. Suitability and assessment of surface water in the Bereslav reservoir water-intake zone for irrigation purpose 631

Morphology and ontogenesis of animals

Bylinskaya D.S., Shchipakin M.V. Tributaries of the portal vein of the domestic cat 641

Animal breeding

Yousefi M., Brigida A.V., Hoseini S.M. Panax ginseng essential oil as a dietary additive: growth and digestive enzyme benefits for rainbow trout..... 651

- Sabirzyanova L.I.** Comparison of hematological blood parameters when studying chronic toxicity of Protigen feed additive..... 659
- Khudyakova N.A., Kozhevnikova I.S., Kudrina M.A.** The influence of distribution of beta-casein genotypes in two generations on milk productivity of Kholmogory cattle..... 669

Veterinary science

- Goncharova A.V., Atabaeva T.K., Kostylev V.A.** Evaluation of hematological parameters in cats with intestinal lymphoma..... 685
- Lust V.A., Scheidt G.E.** Control of the postoperative condition of cats with unilateral ureteral obstruction 696
- Olabode I.R., Sachivkina N.P., Smolentsev S.Y.** A study of blood parameters in rabbits with otitis caused by *Malassezia pachydermatis* and the effect of Farnesol on recovery rates when added to the treatment regimen..... 707



Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-547-565

УДК 631.11:551.5(470.56)

EDN AFTSOD

Научная статья / Research article

Формирование продуктивности колоса яровой пшеницы в условиях засушливого климата Оренбургского Приуралья

И.Н. Бесалиев  , Е.А. Иванова 

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация
 orniish_tzk@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования определяется необходимостью своевременной оценки сортов яровой пшеницы, в т.ч. вновь созданных, в зависимости от меняющихся погодных факторов в зоне возделывания. Цель исследования состояла в анализе показателей колоса сортов яровой пшеницы как основного элемента продуктивности посева. Материалы исследований — данные урожайности, показатели структуры урожая сортов яровой мягкой пшеницы, полученные в полевых опытах, проведенных в условиях Оренбургского Приуралья в течение 2019—2020 и 2022—2023 гг. Методы исследований включали полевые опыты, структурный анализ учетного снопового материала, ранговую оценку сортов по годам опытов и их итоговое ранжирование, корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности сортов от показателей продуктивности колоса. Условия вегетации яровой пшеницы в годы исследований отличались засушливостью. Ранговая оценка сортов показала значительную зависимость их продуктивности от условий погодных факторов и их экологическую приспособленность. Проведен корреляционно-регрессионный анализ связи урожайности яровой пшеницы с показателями продуктивности колоса. Построенные графики показывают, что теоретической урожайности в пределах от 14,9 ц с 1 га до 19,1 ц с 1 га соответствуют число зерен в колосе 25,7 шт., масса 1000 зерен 35,8 г, число колосков в колосе 13,6 шт., масса зерна с колоса 0,75 г. Приведены фактические показатели элементов продуктивности колоса по годам опытов с анализом их сортовых различий и в зависимости от условий года. Сделан вывод о том, что погодные факторы обуславливают различия в реакции сортов на их изменчивость, выражающуюся

© Бесалиев И.Н., Иванова Е.А., 2024



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

в уровне их урожайности в сходных условиях. Сорты, выведенные в более позднее время, отличаются большей экологической пластичностью с ростом урожайности и формированием значительно более полноценного колоса, это сорта Ульяновская 105, Оренбургская 30, Тулайковская золотистая. К числу наименее приспособленных к стресс-факторам погоды можно отнести сорта Учитель, Саратовская 42.

Ключевые слова: сорта пшеницы, агроценоз, урожайность, корреляция

Вклад авторов: Бесалиев И.Н. — введение, анализ полученных результатов, написание рукописи статьи; Иванова Е.А. — математическая обработка полученных данных.

Финансирование. Исследования проведены в соответствии с планом НИР на 2021—2030 гг. ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» по теме Госзадания FNWZ-2022-0014.

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

История статьи: поступила 11 июня 2024 г., принята к публикации 30 октября 2024 г.

Для цитирования: Бесалиев И.Н., Иванова Е.А. Формирование продуктивности колоса яровой пшеницы в условиях засушливого климата Оренбургского Приуралья // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 547—565. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-547-565

Formation of productivity of spring wheat ear in arid climate of Orenburg Urals

Ishen N. Besaliev  , Elena A. Ivanova 

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy
of Sciences, Orenburg, Russian Federation
 orniish_tzk@mail.ru

Abstract. The relevance of the study is determined by the need for timely assessment of spring wheat varieties, including newly created ones, depending on changing weather factors in the cultivation area. The purpose of the study was to analyze the indicators of the ear of spring wheat varieties, which is the main element of sowing productivity. The materials for the research were yield data, indicators of the yield structure of spring soft wheat varieties obtained in field experiments conducted in the conditions of the Orenburg Urals during 2019—2020 and 2022—2023. The research methods included field experiments, structural analysis of accounting sheaf material, ranking of varieties by years of experiments and their final ranking, correlation and regression analysis of dependence of yield on ear productivity. The growing conditions of spring wheat in the years of research were characterized by significant aridity. The grade assessment of the varieties showed a significant dependence of their productivity on weather conditions and their ecological adaptation. The graphs showed that the theoretical yield in the range from 14.9 c/ha to 19.1 c/ha corresponds to: 25.7 grains per ear, 35.8 g — weight of 1000 grains, 13.6 spikelets per ear, 0.75 g — weight of grains per ear. The actual indicators of ear productivity elements were given by years of experiments with an analysis of their varietal differences and depending on the conditions of the year. We can conclude that weather factors cause differences in the response of varieties to their variability, expressed in their yield level under similar conditions. Varieties created at a later time are characterized by greater ecological plasticity with increasing yields and formation of a much more complete ear. Such varieties include Ulyanovskaya 105, Orenburgskaya 30, Tulaykovskaya zolotistaya. The varieties least adapted to the stress factors of the weather include Uchitel, Saratovskaya 42.

Keywords: wheat varieties, agroecocenos, yield, correlation

Authors' contribution: Besaliev I.N. — introduction, analysis of the results obtained, writing the manuscript, Ivanova E.A. — mathematical processing of the data obtained.

Funding. The research was conducted in accordance with the research plan of Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences for 2021—2030 (No. FNWZ-2022-0014).

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

Article history: Received: 11 June 2024. Accepted: 30 October 2024.

For citation: Besaliev IN, Ivanova EA. Formation of productivity of spring wheat ear in arid climate of Orenburg Urals. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):547—565. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-547-565

Введение

Пшеница (*Triticum aestivum* L.) — основная культура, возделываемая как в России, так и по всему земному шару. Прогнозируется, что к 2050 г. население Земли увеличится до 9,6 млрд человек [1], поэтому задачи роста урожайности всех продовольственных культур, в т. ч. и пшеницы, становятся более актуальными. Ежегодный прирост урожайности зерна на 2 % позволит решить потребность в пшенице [2].

Основным фактором, влияющим на продуктивность возделываемых сельскохозяйственных культур, является изменение климата, в особенности увеличение его засушливости. Оренбургская область относится к регионам неустойчивого увлажнения, где как показано в [3, 4], частота весенне-летних засух в более засушливые периоды увеличилась в 2,5 раза по сравнению с более влажными периодами. Анализ динамики урожайности яровых зерновых в данной зоне за длительный период (1883—2013 гг.) позволил [5] сделать вывод о том, что отклонения уровней урожайности объясняются погодными факторами.

По оценке [6] «негативный результат глобального потепления в Оренбуржье — дефицит атмосферной влаги, который не может быть восполнен за счет скудных водных ресурсов степной территории». Начальные запасы продуктивной влаги в почве центральной зоны Оренбуржья снизились от 130...150 мм в 2008 г. до 80...100 мм к 2015—2021 гг. при росте дневной температуры воздуха в июле до экстремальных значений для растений (30 С° и выше) и показателям температуры августа, приблизившимся к июльским.

В формировании продуктивности зерновых культур основную роль играют такие характеристики, как архитектура урожая, наступление и продолжительность фенологических фаз вегетации, морфологические характеристики колоса и зерна [7, 8]. В частности, в [9] установлено, что урожайность зерна яровой пшеницы тесно связана с продолжительностью всего периода вегетации ($r = 0,98$), а также

в значительной мере с продолжительностью периодов всходы — кущение ($r = 0,90$), кущение — выход в трубку ($r = 0,51$), выход в трубку — колошение ($r = 0,84$).

Стресс от засухи оказывает отрицательное влияние на ключевые характеристики и урожайность зерна пшеницы: на количество зерна в колосе на 38...50 %, массу 1000 зерен на 16,4...19,0 %, высоту растений на 14,7...34,4 % [10], т.е. снижает количество зерен в колосе и массу зерна и, в конечном итоге, урожай зерна [11, 12].

В различных полевых опытах установлены достоверные корреляционные связи урожайности с продуктивной кустистостью, числом зерен в колосе, с массой зерна с колоса, массой 1000 зерен [13, 14]. Наблюдается сортовая специфика в снижении продуктивности колоса: в условиях засухи снижение его продуктивности у раннеспелых сортов выше (32,0...41,2 %), чем у среднеранних (22,9...42,9 %) и среднеспелых (27,9...30,6 %), и разный уровень зависимости урожайности сортов разных групп спелости от структурных элементов [15, 16].

Для условий Оренбургского Предуралья в более ранних исследованиях установлено, что рост урожайности сортов яровой пшеницы определяется ростом длины колоса, длины стебля и длины верхнего междоузлия до определенного уровня, после которого отмечается спад уровня продуктивности [17]. По данным авторов [18], имеются сортовые особенности в формировании морфогенеза и продуктивности побега яровой пшеницы: числа колосков и зерновок в колосе, массы семян. Это подтверждается данными других исследований, по которым установлено, что реализация адаптивного потенциала сорта зависит от степени развития зачаточного колоса при влажности устойчивого завядания растений, от которой зависит величина сброса колосков, цветков и снижение жизнеспособности конуса нарастания [19]. Авторами [20] также подчеркивается преимущество сортов с генетическим материалом *Thinorugum pontium* для выведения сортов яровой пшеницы с механизмами адаптации к засухе.

Таким образом, формирование продуктивности колоса и его составляющих является результатом взаимодействия многих факторов: от погодно-климатических до сортовых особенностей.

Цель исследования — анализ формирования продуктивности колоса сортов яровой мягкой пшеницы, обусловленных изменениями погодно-климатических факторов и появлением новых сортов данной культуры в зоне Оренбургского Приуралья.

Материалы и методы исследований

Материалом для анализа послужили данные по урожайности и показателям структурных элементов агроценоза и колоса сортов яровой мягкой пшеницы, полученные в 2019—2020 и 2022—2023 гг. в полевых опытах по их экологическому изучению в условиях центральной зоны Оренбургского Приуралья на черноземе южном. В опыте изучались районированные и перспективные в Оренбургской области сорта яровой мягкой пшеницы. Предшественник — пар черный. Предпосевную подготовку почвы проводили в соответствии с рекомен-

дациями, принятыми в зоне исследований. Посев сеялкой СН-16 нормой высева 4,0 млн всхожих семян на гектар. Повторность опыта 3-кратная. Площадь делянки 66 кв. м (40 м × 1,65 м). В опыте изучали районированные в Оренбургской области сорта яровой мягкой пшеницы: Учитель (контроль), Оренбургская 30, Оренбургская 13, Оренбургская 23 и Оренбургская юбилейная (Федеральное государственное научное учреждение биологических систем и агротехнологий Российской академии наук); Саратовская 42 и Саратовская 70 (Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока); Тулайковская золотистая и Ульяновская 105 (Самарский Федеральный исследовательский центр). Снопы для анализа структуры урожая отбирались в двух повторениях опыта в четырех местах делянок каждая площадью 0,25 кв. м; суммарная площадь по отбору образцов по каждому сорту составляла 2 кв. м. Для определения продуктивности колоса с каждого повторения сорта отбирали по 10 типичных растений; общее число растений в анализе составляло 20 штук. Измеряли длину растения, длину колоса, число колосков, число зерен в колосе, взвешивали массу зерна с колоса. Массу 1000 зерен определяли в снопе для учета структуры урожая после обмолота каждого снопа в повторности. Анализ показателей структуры урожая, растений и колоса проводили в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹. Обработку массива экспериментальных данных провели методом однофакторного нелинейного корреляционно-регрессионного анализа [21] с использованием библиотеки из 34 алгебраических функций, в т. ч. полиномиальных и показательных функций. Регрессионный анализ включал метод отыскания параметров регрессионной модели и статистическую обработку данных. Основным методом отыскания параметров регрессионной модели является метод наименьших квадратов. Суть этого метода заключается в минимизации суммы квадратов отклонений между найденными в опыте значениями параметров оптимизации и предсказываемыми данной моделью.

Поскольку вид математической зависимости между параметрами оптимизации и варьируемым фактором *a priori* (от латинского «до опыта») неизвестен, то в качестве регрессионной модели использовали полиномы некоторого порядка:

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_kx^k,$$

где k — порядок полинома.

Результаты исследований и обсуждение

Погодные факторы в период роста и развития яровой пшеницы в годы исследований отличались резкой засушливостью, которая характерна в 2015—2021 гг. для Оренбургского Приуралья. Формирование урожайности основных сельскохозяйственных культур проходит при нарастании температуры воздуха с началом вегетации на фоне недостатка продуктивной влаги. Такая картина условий вегетации была характерна и в годы наших исследований.

¹ Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. М., 2019. 329 с.

При оценке периодов вегетации по гидротермическому коэффициенту [22] годы исследований характеризовались резкой засушливостью (табл. 1). Особо засушливыми были в 2019 г. май, в 2020 г. — весь период вегетации, в 2022 г. — июнь, а в 2023 г. — май — июнь. В 2023 г. в мае выпала 4-месячная норма осадков, но резкое повышение температуры воздуха в июне — июле не позволило реализовать максимальную продуктивность.

Таблица 1

Гидротермический коэффициент за май – июль в 2019–2023 гг.

Месяцы	Гидротермический коэффициент, ед.			
	2019	2020	2022	2023
За май – июль	0,61	0,38	1,10	0,54
В том числе за: май	0,18	0,60	3,35	0,27
июнь	0,50	0,34	0,30	0,55
июль	1,36	0,28	0,59	0,76

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 1

Hydrothermal coefficient for May – July in 2019–2023

Months	Hydrothermal coefficient			
	2019	2020	2022	2023
May – July	0.61	0.38	1.10	0.54
Including: May	0.18	0.60	3.35	0.27
June	0.50	0.34	0.30	0.55
July	1.36	0.28	0.59	0.76

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

В сложившихся условиях прохождения вегетации и формирования продуктивности колоса мы сочли нужным провести оценку ее составляющих.

Урожайность сортов в опыте в среднем за 4 года составила 13,4 ц с 1 га с максимальным значением 17,4 ц с 1 га в 2022 г. и минимальным — 10,1 ц с 1 га в 2019 г. (табл. 2). Более урожайным как в среднем за 4 года, так и по каждому году отдельно оказался сорт Ульяновская 105. Два сорта — Учитель и Саратовская 42 — показали низкую среднюю урожайность за 4 года (соответственно 9,3 и 11,0 ц с 1 га) и в течение всех лет опытов. Остальные сорта сформировали урожайность от 12,9 до 14,6 ц с 1 га.

Проведена оценка экологической пластичности сортов по каждому году по методу Грязнова [23] с ранжированием показателей за годы опытов (табл. 3).

Наиболее пластичным оказался сорт Ульяновская 105, два последующих места в ранге заняли сорта Тулайковская золотистая и Саратовская 70, а наименьшая пластичность — у сортов Учитель, Оренбургская 13 и Саратовская 42. Таким образом, сорта яровой пшеницы в годы их изучения отличались значительными отклонениями в урожайности и демонстрировали разную экологическую пластичность.

Таблица 2

**Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы
в Оренбургском Приуралье в 2019–2023 гг.**

Наименование сорта	Урожайность, ц с 1 га				
	2019	2020	2022	2023	Средняя
1. Учитель – контроль	8,4	9,2	10,7	8,9	9,3
2. Ульяновская 105	14,3	16,8	26,2	17,0	18,6
3. Саратовская 42	7,8	12,9	12,3	10,8	11,0
4. Саратовская 70	10,9	15,6	17,1	11,9	13,9
5. Оренбургская 13	8,7	11,8	18,8	11,4	12,7
6. Оренбургская 30	9,5	14,7	17,8	13,1	13,8
7. Оренбургская 23	10,5	13,4	18,5	12,7	13,8
8. Тулайковская золотистая	11,4	15,0	18,5	13,6	14,6
9. Оренбургская юбилейная	9,8	12,3	16,3	13,3	12,9
Средняя	10,1	13,5	17,4	12,5	13,4
НСР ₀₅	1,95	1,96	2,13	0,86	

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 2

Yield of spring soft wheat varieties in the Orenburg Urals in 2019–2023

Variety	Yield, centners per ha				
	2019	2020	2022	2023	Average
1. Uchitel (control)	8.4	9.2	10.7	8.9	9.3
2. Ulyanovskaya 105	14.3	16.8	26.2	17.0	18.6
3. Saratovskaya 42	7.8	12.9	12.3	10.8	11.0
4. Saratovskaya 70	10.9	15.6	17.1	11.9	13.9
5. Orenburgskaya 13	8.7	11.8	18.8	11.4	12.7
6. Orenburgskaya 30	9.5	14.7	17.8	13.1	13.8
7. Orenburgskaya 23	10.5	13.4	18.5	12.7	13.8
8. Tulaykovskaya zolotistaya	11.4	15.0	18.5	13.6	14.6
9. Orenburgskaya yubileynaya	9.8	12.3	16.3	13.3	12.9
Average	10.1	13.5	17.4	12.5	13.4
LSD ₀₅	1.95	1.96	2.13	0.86	

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

Таблица 3

**Результаты расчета рангов сортов по урожайности в 2019–2023 гг.
и их итоговая оценка**

Наименование сорта	Ранг				Сумма рангов	Место
	2019	2020	2022	2023		
1. Учитель – контроль	8	9	8	9	34	9
2. Ульяновская 105	1	1	1	1	4	1

Окончание табл. 3

Наименование сорта	Ранг				Сумма рангов	Место
	2019	2020	2022	2023		
3. Саратовская 42	9	6	7	8	30	8
4. Саратовская 70	3	2	5	6	16	3
5. Оренбургская 13	7	8	2	7	24	7
6. Оренбургская 30	6	4	4	4	18	5
7. Оренбургская 23	4	5	3	5	17	4
8. Тулайковская золотистая	2	3	3	2	10	2
9. Оренбургская юбилейная	5	7	6	3	21	6

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 3

The results of calculating the grades of varieties by yield in 2019–2023 and their final assessment

Variety	Grade				Sum of grades	Place
	2019	2020	2022	2023		
1. Uchitel (control)	8	9	8	9	34	9
2. Ulyanovskaya 105	1	1	1	1	4	1
3. Saratovskaya 42	9	6	7	8	30	8
4. Saratovskaya 70	3	2	5	6	16	3
5. Orenburgskaya 13	7	8	2	7	24	7
6. Orenburgskaya 30	6	4	4	4	18	5
7. Orenburgskaya 23	4	5	3	5	17	4
8. Tulaykovskaya zolotistaya	2	3	3	2	10	2
9. Orenburgskaya yubileynaya	5	7	6	3	21	6

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа указали (табл. 4) на наличие достоверных связей урожайности яровой мягкой пшеницы и числа продуктивных стеблей на единице площади, а также массы 1000 зерен, числа колосков в колосе, числа зерен в колосе и массы зерна с колоса.

Полученные при этом графики связи рассматриваемых зависимостей показали, что теоретической урожайности в пределах от 14,9 до 19,1 ц с 1 га соответствуют показатели продуктивности колоса по числу зерен в колосе 25,7 шт., массе 1000 зерен 35,8 г, числу колосков в колосе 13,6 шт., массе зерна с колоса 0,75 г. По показателю длины колоса результаты математических связей оказались недостоверными.

Урожайность посева, как известно, складывается из продуктивности отдельных колосьев, что, в свою очередь, может определяться погодными факторами и сортовыми особенностями.

Зависимость урожайности яровой мягкой пшеницы от показателей продуктивности колоса

Коррелируемые величины	Параметр величин (M ± G)	v, %	η_{yx}	F	
				факт.	теор.
Число зерен в колосе, индекс x_1 , шт.	$\frac{8,40-25,70^*}{17,90 \pm 3,5}$	29,29	–	–	–
Урожайность зерна y_1 , т с 1 га,	$\frac{1,03 - 1,73}{1,34 \pm 0,19}$	24,01	0,505	3,27	1,76

$$y_1 = 22,565 - 1,287x + 4,188 - 0,2x^2, \text{ т с 1 га, для 74,51 \% случаев}$$

Длина колоса x_2 , см	$\frac{5,60 - 8,20}{6,80 \pm 0,67}$	9,91	–	–	–
Урожайность y_2 , т с 1 га	$\frac{1,01 - 1,65}{1,33 \pm 0,16}$	12,26	0,501	1,26	1,46

$$y_2 = -49,643 + 17,987x_2 - 1,271x_2^2, \text{ т с 1 га, не удовлетворяет}$$

Число колосков в колосе x_3 , шт.	$\frac{9,00 - 13,60}{11,10 \pm 1,17}$	10,6	–	–	–
Урожайность y_3 , т с 1 га	$\frac{1,00 - 2,24}{1,35 \pm 0,23}$	17,1	0,678	3,74	1,76

$$y_3 = 63,714 - 10,360x_3 + 0,620x_3^2, \text{ т с 1 га, для 65,60 \% случаев}$$

Масса зерна с 1 колоса x_4 , г	$\frac{0,27 - 0,75}{0,50 \pm 0,11}$	21,01	–	–	–
Урожайность y_4 , т с 1 га	$\frac{0,94 - 1,67}{1,33 \pm 0,17}$	12,60	0,602	4,52	1,46

$$y_4 = 17,752 - 2,125x_4, \text{ т с 1 га, для 76,29 \% случаев}$$

Масса 1000 зерен x_5 , г	$\frac{24,49 - 35,83}{29,90 \pm 2,96}$	9,89	–	–	–
Урожайность y_5 , т с 1 га	$\frac{1,04 - 1,87}{1,34 \pm 0,23}$	17,50	0,841	3,23	1,76

$$y_5 = 53,883 - 3,327x_5 + 6,533 - 0,2x_5^2, \text{ т с 1 га, для 70,80 \% случаев}$$

Примечание. * В числителе указаны минимальные и максимальные показатели признака.

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 4

Dependence of spring soft wheat yield on ear productivity indicators

Correlated indicators	Indicator parameter (M ± G)	v, %	η_{yx}	F	
				act.	theor.
Number of grains per ear, x_1 index	$\frac{8.40 - 25.70^*}{17.90 \pm 3.5}$	29.29	–	–	–
Grain yield y_1 , tons per ha	$\frac{1.03 - 1.73}{1.34 \pm 0.19}$	24.01	0.505	3.27	1.76
$y_1 = 22.565 - 1.287x_1 + 4.188 - 0.2x_1^2$, t per 1 ha, for 74.51% of cases					
Ear length x_2 , cm	$\frac{5.60 - 8.20}{6.80 \pm 0.67}$	9.91	–	–	–
Productivity y_2 , tons per 1 ha	$\frac{1.01 - 1.65}{1.33 \pm 0.16}$	12.26	0.501	1.26	1.46
$y_2 = -49.643 + 17.987x_2 - 1.271x_2^2$, t per 1 ha, does not satisfy					
Number of spikelets per ear x_3	$\frac{9.00 - 13.60}{11.10 \pm 1.17}$	10.6	–	–	–
Productivity y_3 , tons per ha	$\frac{1.00 - 2.24}{1.35 \pm 0.23}$	17.1	0.678	3.74	1.76
$y_3 = 63.714 - 10.360x_3 + 0.620x_3^2$, t per 1 ha, for 65.60% of cases					
Grain weight per ear, g (x_4)	$\frac{0.27 - 0.75}{0.50 \pm 0.11}$	21.01	–	–	–
Productivity y_4 , tons per ha	$\frac{0.94 - 1.67}{1.33 \pm 0.17}$	12.60	0.602	4.52	1.46
$y_4 = 17.752 - 2.125/x_4$, t per ha, for 76.29% of cases					
Weight of 1000 grains x_5 , g	$\frac{24.49 - 35.83}{29.90 \pm 2.96}$	9.89	–	–	–
Productivity y_5 , tons per ha	$\frac{1.04 - 1.87}{1.34 \pm 0.23}$	17.50	0.841	3.23	1.76
$y_5 = 53.883 - 3.327x_5 + 6.533 - 0.2x_5^2$, t per 1 ha, for 70.80% of cases					

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

В наших исследованиях длина колоса изменялась по годам опытов от 6,2 до 7,5 см и различалась по сортам от 6,4 до 7,1 см, но эти значения оказались малосущественными для определения различий в продуктивности агроценоза (табл. 5).

Таблица 5

Длина колоса сортов яровой мягкой пшеницы в 2019–2023 гг.

Название сорта	Длина колоса, см				
	2019	2020	2022	2023	Средняя
1. Учитель – контроль	6,9	8,2	6,2	6,7	7,0
2. Ульяновская 105	7,3	7,9	7,2	5,8	7,1
3. Саратовская 42	5,6	7,1	6,7	6,0	6,4
4. Саратовская 70	6,0	7,1	7,4	5,7	6,6
5. Оренбургская 13	6,5	8,1	7,0	6,5	7,0
6. Оренбургская 30	7,2	7,1	6,5	5,8	6,7
7. Оренбургская 23	6,9	7,6	6,8	6,3	6,9
8. Тулайковская золотистая	6,5	7,0	6,1	5,8	6,4
9. Оренбургская юбилейная	7,0	7,4	7,2	7,0	6,8
Средняя	6,7	7,5	6,8	6,2	6,8

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 5

Ear length of spring soft wheat varieties in 2019–2023

Variety	Ear length, cm				
	2019	2020	2022	2023	Average
1. Uchitel (control)	6.9	8.2	6.2	6.7	7.0
2. Ulyanovskaya 105	7.3	7.9	7.2	5.8	7.1
3. Saratovskaya 42	5.6	7.1	6.7	6.0	6.4
4. Saratovskaya 70	6.0	7.1	7.4	5.7	6.6
5. Orenburgskaya 13	6.5	8.1	7.0	6.5	7.0
6. Orenburgskaya 30	7.2	7.1	6.5	5.8	6.7
7. Orenburgskaya 23	6.9	7.6	6.8	6.3	6.9
8. Tulaykovskaya zolotistaya	6.5	7.0	6.1	5.8	6.4
9. Orenburgskaya yubileynaya	7.0	7.4	7.2	7.0	6.8
Average	6.7	7.5	6.8	6.2	6.8

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

Число колосков в колосе определяется благоприятностью условий года как в период вегетативного развития растений, когда закладываются метамеры колосковых бугорков, так и в генеративный период, когда формируется их окончательное количество. В наших исследованиях (табл. 6) число колосков в колосе имело существенную ($r = 0,678$) связь с урожаем и изменялось от 13,6 шт. у сорта Ульяновская 105 в 2019 г. до 9,2 шт. у сорта Саратовская 42 в 2023 г.; что в значительной степени обуславливалось существенной засушливостью мая и наложением отрицательных факторов гидротермического режима последующих месяцев.

Таблица 6

Число колосков в колосе сортов яровой мягкой пшеницы в 2019–2023 гг.

Название сорта	Число колосков в колосе, шт.				
	2019	2020	2022	2023	Среднее
1. Учитель – контроль	11,5	11,8	10,4	9,8	10,9
2. Ульяновская 105	13,0	12,9	13,6	9,9	12,4
3. Саратовская 42	9,6	11,1	11,4	9,2	10,3
4. Саратовская 70	10,5	11,4	12,0	9,4	10,8
5. Оренбургская 13	10,7	12,3	10,5	9,0	10,6
6. Оренбургская 30	11,5	11,3	11,2	9,6	10,9
7. Оренбургская 23	12,1	11,8	10,8	9,4	11,0
8. Тулайковская золотистая	12,5	11,5	10,9	9,3	11,1
9. Оренбургская юбилейная	11,8	12,0	11,6	10,7	11,5
Среднее	11,5	11,9	11,4	9,6	11,1

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 6

Number of spikelets per ear of spring soft wheat varieties in 2019–2023

Variety	Number of spikelets per ear				
	2019	2020	2022	2023	Average
1. Uchitel (control)	11.5	11.8	10.4	9.8	10.9
2. Ulyanovskaya 105	13.0	12.9	13.6	9.9	12.4
3. Saratovskaya 42	9.6	11.1	11.4	9.2	10.3
4. Saratovskaya 70	10.5	11.4	12.0	9.4	10.8
5. Orenburgskaya 13	10.7	12.3	10.5	9.0	10.6
6. Orenburgskaya 30	11.5	11.3	11.2	9.6	10.9
7. Orenburgskaya 23	12.1	11.8	10.8	9.4	11.0
8. Tulaykovskaya zolotistaya	12.5	11.5	10.9	9.3	11.1
9. Orenburgskaya yubileynaya	11.8	12.0	11.6	10.7	11.5
Average	11.5	11.9	11.4	9.6	11.1

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

Число зерен в колосе — наиболее важная составляющая продуктивности посевов. В сумме с количеством колосков она определяет окончательную продуктивность посева. В годы с засушливостью мая (2019 и 2023) с ГТК 0,18 ед. и 0,27 ед. соответственно данный показатель резко снижался, особенно у сорта Учитель (табл. 7). При росте гидротермического коэффициента до значений 0,60 ед и выше число зерен в колосе значительно возрастало. В число сортов с наибольшим числом зерен в колосе вошли Ульяновская 105, Саратовская 70, Оренбургская 23. Подавляющее преимущество по озерненности колоса у сорта Ульяновская 105, два сорта (Оренбургская 23 и Саратовская 70) незначительно уступили ему. Данный показатель существенно возрастает в годы с относительно высокими значениями ГТК в мае — 2020 и 2023 гг. на фоне усиления засушливости в последующем.

Таблица 7

Число зерен в колосе сортов яровой мягкой пшеницы в 2019–2023 гг.

Название сорта	Число зерен в колосе, шт.				
	2019	2020	2022	2023	Среднее
1. Учитель – контроль	8,4	16,1	16,2	14,5	13,8
2. Ульяновская 105	18,7	25,7	22,0	19,3	21,4
3. Саратовская 42	14,2	17,0	18,0	14,3	15,9
4. Саратовская 70	21,0	23,0	17,1	14,7	19,0
5. Оренбургская 13	18,0	20,2	18,0	17,0	18,3
6. Оренбургская 30	12,0	20,5	20,0	15,8	17,1
7. Оренбургская 23	19,3	18,1	22,0	19,0	19,6
8. Тулайковская золотистая	13,0	23,0	21,0	15,8	18,2
9. Оренбургская юбилейная	20,0	18,8	19,5	14,9	18,3
Среднее	16,1	20,3	19,3	16,1	18,0

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 7

Number of grains per ear of spring soft wheat varieties in 2019–2023

Variety	Number of grains per ear				
	2019	2020	2022	2023	Average
1. Uchitel (control)	8.4	16.1	16.2	14.5	13.8
2. Ulyanovskaya 105	18.7	25.7	22.0	19.3	21.4
3. Saratovskaya 42	14.2	17.0	18.0	14.3	15.9
4. Saratovskaya 70	21.0	23.0	17.1	14.7	19.0
5. Orenburgskaya 13	18.0	20.2	18.0	17.0	18.3
6. Orenburgskaya 30	12.0	20.5	20.0	15.8	17.1
7. Orenburgskaya 23	19.3	18.1	22.0	19.0	19.6
8. Tulaykovskaya zolotistaya	13.0	23.0	21.0	15.8	18.2
9. Orenburg yubileynaya	20.0	18.8	19.5	14.9	18.3
Average	16.1	20.3	19.3	16.1	18.0

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

Масса зерна с колоса сопряжена с числом зерен в колосе и определяется как погодными факторами, так и сортовыми особенностями. Различия в данном показателе между относительно благоприятными (2020 и 2022 гг.) и более засушливыми (2019 и 2023) годами составили 21,7...32,6 % (табл. 8). Наиболее массивный колос сформировали сорта Ульяновская 105, Саратовская 70, Оренбургская 23.

Таблица 8

Масса зерна с 1 колоса сортов яровой мягкой пшеницы в 2029–2023 гг.

Название сорта	Масса зерна с 1 колоса, г				
	2019	2020	2022	2023	Средняя
1. Учитель – контроль	0,27	0,42	0,44	0,33	0,37
2. Ульяновская 105	0,63	0,67	0,66	0,52	0,62
3. Саратовская 42	0,38	0,47	0,49	0,38	0,43
4. Саратовская 70	0,49	0,75	0,51	0,40	0,54
5. Оренбургская 13	0,52	0,57	0,52	0,42	0,49
6. Оренбургская 30	0,43	0,62	0,57	0,50	0,53
7. Оренбургская 23	0,54	0,53	0,66	0,46	0,55
8. Тулайковская золотистая	0,41	0,62	0,60	0,39	0,51
9. Оренбургская юбилейная	0,44	0,51	0,56	0,46	0,49
Средняя	0,46	0,57	0,56	0,43	0,50

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 8

Grain weight per 1 ear of spring soft wheat varieties in 2019–2023

Variety	Grain weight per ear, g				
	2019	2020	2022	2023	Average
1. Uchitel (control)	0.27	0.42	0.44	0.33	0.37
2. Ulyanovskaya 105	0.63	0.67	0.66	0.52	0.62
3. Saratovskaya 42	0.38	0.47	0.49	0.38	0.43
4. Saratovskaya 70	0.49	0.75	0.51	0.40	0.54
5. Orenburgskaya 13	0.52	0.57	0.52	0.42	0.49
6. Orenburgskaya 30	0.43	0.62	0.57	0.50	0.53
7. Orenburgskaya 23	0.54	0.53	0.66	0.46	0.55
8. Tulaykovskaya zolotistaya	0.41	0.62	0.60	0.39	0.51
9. Orenburg yubileynaya	0.44	0.51	0.56	0.46	0.49
Average	0.46	0.57	0.56	0.43	0.50

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

Масса 1000 зерен — одно из основных слагаемых урожайности, характеризующих уровень агротехники, сортовые особенности. Различия по данному показателю между годами опытов составили от 0,03 до 0,14 г (0,07...32,6%), а между сортами доходили до 0,25 г (67,6%) (табл. 9). Резкая засушливость июля в 2020 г. с ГТК 0,28 ед. существенно снизила наполнение зерна, в итоге масса 1000 зерен была в среднем самой низкой по опыту (0,27 г), хотя отдельные сорта и в этих условиях сформировали массу 1000 зерен более чем 30,0 г: Оренбургская 30, Саратовская 70, Оренбургская 23 и Оренбургская юбилейная. В тоже время при относительно благоприятных условиях 2022 г. и средней массе 1000 зерен 32,36 г сорта Саратовская 42 и Учитель имели массу 1000 зе-

рен 27,38...28,10 г, что свидетельствует об их неустойчивости к засушливости. Следует выделить три сорта: Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная и Оренбургская 23 — с высокой абсолютной массой зерна.

Таблица 9

Масса 1000 зерен сортов яровой мягкой пшеницы в 2019–2023 гг.

Название сорта	Масса 1000 зерен, г				
	2019	2020	2022	2023	Средняя
1. Учитель – контроль	27,12	28,01	27,38	29,31	27,96
2. Ульяновская 105	30,09	28,09	33,69	27,36	29,81
3. Саратовская 42	27,41	28,81	28,10	30,07	28,60
4. Саратовская 70	29,96	30,30	33,46	26,94	30,17
5. Оренбургская 13	29,24	30,34	31,57	28,16	29,83
6. Оренбургская 30	32,23	31,51	35,83	31,46	32,76
7. Оренбургская 23	30,12	28,03	35,02	32,44	31,40
8. Тулайковская золотистая	24,49	27,78	31,54	24,49	27,08
9. Оренбургская юбилейная	25,13	31,40	34,68	30,74	30,49
Средняя	29,12	25,99	32,36	29,00	29,12

Источник: выполнено И.Н. Бесалиевым, Е.А. Ивановой.

Table 9

Weight of 1000 grains of spring soft wheat varieties in 2019–2023

Variety	Weight of 1000 grains, g				
	2019	2020	2022	2023	Average
1. Uchitel (control)	27.12	28.01	27.38	29.31	27.96
2. Ulyanovskaya 105	30.09	28.09	33.69	27.36	29.81
3. Saratovskaya 42	27.41	28.81	28.10	30.07	28.60
4. Saratovskaya 70	29.96	30.30	33.46	26.94	30.17
5. Orenburgskaya 13	29.24	30.34	31.57	28.16	29.83
6. Orenburgskaya 30	32.23	31.51	35.83	31.46	32.76
7. Orenburgskaya 23	30.12	28.03	35.02	32.44	31.40
8. Tulaykovskaya zolotistaya	24.49	27.78	31.54	24.49	27.08
9. Orenburg yubileynaya	25.13	31.40	34.68	30.74	30.49
Average	29.12	25.99	32.36	29.00	29.12

Source: created by I.N. Besaliev, E.A. Ivanova.

Условия Оренбургского Приуралья отличаются крайней засушливостью с началом вегетации зерновых культур. В отдельные годы недостаток осадков на фоне высокой температуры воздуха сопровождает весь период вегетации. Наиболее жесткие проявления таких факторов наблюдались в конце первого десятилетия — первой половине третьего десятилетия XXI в. и невысокие урожаи сортов объясняются их частым повторением. Но отдельные сорта в этих условиях, как

видно из наших данных, сравнительно более урожайные: Ульяновская 105, Саратовская 70, Тулайковская золотистая, Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная, что подчеркивает их экологическую приспособленность. Эти сорта формируют более продуктивный колос, особенно по показателям массы зерна с колоса, массы 1000 зерен, числа зерен в колосе, что отмечается и в исследованиях [24], когда в условиях засушливости вегетационного периода более продуктивному сорту одновременно присущи высокие слагаемые продуктивности колоса. В наших опытах сорт Учитель проявил наименьшую адаптивность к условиям лет исследований, что подчеркивается и в недавних исследованиях [25], в которых установлено, что на развитие зерна яровой пшеницы оказывают влияние также способы обработки почвы. Так, вспашка приводила к удлинению колоса у сортов мягкой пшеницы, безотвальное рыхление зяби — к уменьшению длины колоса у сортов твердой пшеницы, а у сорта Учитель при посеве по пару было значительно меньше фертильных колосков по сравнению с аналогичным показателем у этого сорта при посеве по вспашке и безотальному рыхлению.

Заключение

В целом, можно отметить, что основным фактором снижения продуктивности яровой пшеницы в зоне Оренбургского Приуралья в 2010—2021 гг. является нарастание температуры воздуха и неравномерное выпадение осадков, что в совокупности определяет резкую аридность климата. Одним из способов, обеспечивающих приспособленность к таким условиям, является выведение соответствующих сортов. Наши результаты доказывают, это возможно. Исследованиями установлено, что сорта яровой мягкой пшеницы Ульяновская 105, Саратовская 70, Тулайковская золотистая, Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная формируют колос с более продуктивными показателями по числу зерен в колосе, массы зерна с колоса и массе 1000 зерен, что позволяет им в итоге увеличить урожайность.

Список литературы

1. *Tilman D., Balser C., Hill J., Befort B.L.* Global food demand and the sustainable intensification of agriculture // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2011. Vol. 108. № 50. P. 20260—20264. doi: 10.1073/pnas.1116437108
2. *Li L., Peng Z., Mao X., Wang J., Chang X., Reynolds M., Jing R.* Genome — wide association study reveals genomic regions controlling root and shoot traits at late growth stages in wheat. *Annals of Botany*. 2019. Vol. 124. P. 993—1006. doi: 10.1093/aob/mcz 041
3. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б., Черенкова Е.А.* Характеристика весенне-летних засух в сухие влажные периоды на юге Европейской России // *Аридные экосистемы*. 2020. Т. 26. № 4(85). С. 76—83. doi: 10.24411/1993-3916-2020-10121
4. *Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Весенне-летние засухи в степях Оренбуржья: современные изменения и модельные прогнозы // *Степи Северной Евразии : материалы девятого Международного симпозиума*. Оренбург, 07—11 июня 2021. С. 849—853. doi: 10.24412/cl-36359-2021-849-853
5. *Афанасьев В.Н.* Изменение климата и адаптация к его изменениям урожайности зерновых культур: статистические исследования // *Сборник докладов 11 открытого российского конгресса «Статистика — язык цифровой цивилизации»*. Ростов-на-Дону, 04—06 декабря 2018. С. 570—581.

6. Неверов А.А. Влияние глобальных изменений в климатической системе планеты на погодноклиматические условия Оренбуржья и продуктивность растений // Известия ОГАУ. 2020. № 4 (84). С. 19—25. doi: 10.37670/2073-0853-2020-84-4-19-25
7. Jaiswal V., Gahlaut V., Meher P.K., Mir R.R., et al. Genome wide single locus single trait, multi locus and multi-trait association agronomic traits in common wheat (*T. aestivum*) // Plos One. 2016. doi: 10.1371/journal.pone.0159343
8. Sun C., Zhang F., Yan X., Zhang X., Dong Z., Cui D., Chen F. Genome-wide association study for 13 agronomic traits reveals distribution of superior alleles in bread wheat from the Yellow and Huai Valley of China // Plant Biotechnology journal. 2017. Vol. 15. № 8. P. 953—969. doi: 10.1111/pbi.12690
9. Бесалиев И.Н., Панфилов А.Л., Абдраштов Р.Р. Научно обоснованные параметры агроценоза яровой мягкой пшеницы в засушливых условиях Оренбургского Приуралья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2022. № 2 (66). С. 14—22. doi: 10.32786/2071-9485-2022-02-01
10. Afzal F., Reddy B., Gul A., Khalid M., Subhani A., Shazadi A., et al. Physiological, biochemical and agronomic traits associated with drought tolerance in a synthetic — derived wheat diversity panel // Grop Pasture Sci. 2017. Vol. 68. № 3. P. 213—224. doi: 10.1071/CP16367
11. Sobhanininan N., Heidari, B., Tahmasebi S., Dadkhodaie A., Mccinyre C.L. Response of quantitative and physiological traits to drought stress in the SeriM82/Babax wheat population // Euphytica. 2019. Vol. 215. № 2. P. 1—15 doi: 10.1007/s10681-019-2357-x
12. Pradha G.P., Prasad P., Fritz A.K., Kirkham M.B., Gill B.S. Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat // Funct. Plant Biol. 2012. № 39. P. 190—198. doi: 10.1071/FP11245
13. Таранова Т.Ю., Кинчаров А.И., Дёмина Е.А., Муллаянова О.С., Чекмасова К.Ю. Селекционная оценка исходного материала яровой мягкой пшеницы по продуктивности и ее элементам // Вестник Красноярского Государственного университета. 2021. № 5. С. 81—88. doi: 10.36718/1819-4036-2021-5-81-88
14. Плотникова Л.Я., Глушаков Д.А., Юсов В.С. Результаты изучения засухоустойчивости твердой пшеницы и ее компонентов в Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (48). С. 56—70. doi: 10.48136/2222-0364-2022-4-56
15. Воробьев В.А., Воробьев А.В. Влияние влагообеспеченности вегетационного периода на смену рангов сортов яровой пшеницы по урожайности и элементам ее структуры // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 8. С. 29—32. doi: 10/24411/0235-2451-2019-0806
16. Бойко Н.И., Пискарев В.В., Тимофеева А.А. Особенности формирования урожайности пшеницы мягкой яровой в контрастных погодных условиях лесостепи Приобья // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 3 (19). С. 135—141.
17. Мухитов Л.А., Тимошенкова Т.А. Морфологические признаки сортов *Triticum durum* в условиях степи Оренбургского Предуралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10 (185). С. 37—42.
18. Сигнаевский В.Д., Степанов С.А., Болдырев В.А. Влияние засухи на продуктивность яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета Серия: Химия, Биология, Экология. 2014. Т. 14. № 2. С. 50—54.
19. Осипова Л.В., Ниловская Н.Т. Формирование зачаточного колоса и продуктивность сортов яровой пшеницы в условиях нарастающей почвенной засухи // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 5. С. 14—15.
20. Plotnikova L. Ya., Sagendykova A.T., Kuzmina S.P. Drought resistance of introgressive spring common wheat lines with genetic material of tall wheatgrass. Proceedings on applied botany genetics and Breeding. 2023. Vol. 184. № 2. P. 38—51. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-38-51
21. Фёрстер Э., Рёнц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа / пер. с нем. В.М. Ивановой. М. : Финансы и статистика, 1983. 304 с.
22. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. № . 20. С. 165—177.
23. Грязнов А.А. Ячмень Карабалькский (корм, крупа, пиво). Кустанай, 1996. 448 с.
24. Ленточкин А.М. Связь уровня продуктивности колоса яровой пшеницы Ирень с его слагаемыми // Вековое растениеводство: материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры растениеводства. Пермь, 2023. С. 120—125.
25. Varanoba E.N., Aniskina T.S., Sudarikov K.A., Besaliev I.N. Phenotyping wheat kernel symmetry as a consequence of different agronomic practices // Symmetry. 2024. Vol. 16. № 5. P. 548. doi: 10.3390/sym16050548

References

1. Tilman D, Balser C, Hill J, Belfort BL. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2011;108(50):20260—20264. doi: 10.1073/pnas.1116437108
2. Li L, Peng Z, Mao X, Wang J, Chang X, Reynolds M, et al. Genome — wide association study reveals genomic regions controlling root and shoot traits at late growth stages in wheat. *Annals of Botany*. 2019;124(6):993—1006. doi: 10.1093/aob/mcz 041
3. Zolotokrylin AN, Titkova TB, Cherenkova EA. Characteristics of spring-summer droughts during dry wet periods in the south of European Russia. *Arid ecosystems*. 2020;26(4):76—83. (In Russ.). doi: 10.24411/1993-3916-2020-10121
4. Cherenkova EA, Zolotokrylin AN, Titkova TB. Spring-summer droughts in the steppes of Orenburg region: modern changes and model forecasts. In: *Steppes of Northern Eurasia: conference proceedings*. Orenburg; 2021. p.849—853. (In Russ.). doi: 10.24412/cl-36359-2021-849-853
5. Afanasyev VN. Climate change and adaptation to changes in grain crop yields: statistical studies. In: *Statistics — the language of digital civilization: conference proceedings*. Rostov-on-Don, 2018. p.570—581. (In Russ).
6. Neverov AA. The influence of global changes in the planetary climatic system on the weather — climatic conditions and plant productivity in the Orenburg region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020;(4):19—25. (In Russ.). doi: 10.37670/2073-0853-2020-84-4-19-25
7. Jaiswal V, Gahlaut V, Meher PK, Mir RR, Jaiswal JP, Rao AR, et al. Genome wide single locus single trait, multi locus and multi-trait association agronomic traits in common wheat (*T. aestivum*) *Plos One*. 2016;11(7): e0159343. doi: 10.1371/journal.pone.0159343
8. Sun C, Zhang F, Yan X, Zhang X, Dong Z, Cui D, et al. Genome-wide association study for 13 agronomic traits reveals distribution of superior alleles in bread wheat from the Yellow and Huai Valley of China. *Plant Biotechnology Journal*. 2017;15(8):953—969. doi: 10.1111/pbi.12690
9. Besaliev IN, Panfilov AL, Abdrashitov RR. Scientific-based parameters of agrocenosis of spring soft wheat in arid conditions of the Orenburg Urals. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2022;(2):14—22. (In Russ.). doi: 10.32786/2071-9485-2022-02-01
10. Afzal F, Reddy B, Gul A, Khalid M, Subhani A, Shazadi A, et al. Physiological, biochemical and agronomic traits associated with drought tolerance in a synthetic-derived wheat diversity panel. *Grass Pasture Sci*. 2017;68(3):213—224. doi: 10.1071/CP16367
11. Sobhaninan N, Heidari B, Tahmasebi S, Dadkhodaie A, McInyre CL. Response of quantitative and physiological traits to drought stress in the SeriM82/Babax wheat population. *Euphytica*. 2019;215(2):32. doi: 10.1007/s10681-019-2357-x
12. Pradhan GP, Prasad PV, Fritz AK, Kirkham MB, Gill BS. Effects of drought and high temperature stress on synthetic hexaploid wheat. *Functional Plant Biology*. 2012;39(3):190—198. doi: 10.1071/FP11245
13. Taranova TY, Kincharov AI, Demina EA, Mullayanova OS, Chekmasova KY. Selection evaluation of soft spring wheat input material by productivity and its elements. *Bulletin of KSAU*. 2021;(5):81—88. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2021-5-81-88
14. Plotnikova LY, Glushakov DA, Yusov VS. Results of study of drought resistance of durum wheat and its components in Western Siberia. *Vestnik of Omsk SAU*. 2022;(4):56—70. (In Russ.). doi: 10.48136/2222-0364-2022-4-56
15. Vorobyov VA, Vorobyov AV. Effect of water supply during the vegetative season on a change in the ranking of spring wheat varieties in terms of yield and structural elements. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2019;33(8):29—32. (In Russ.). doi: 10/24411/0235-2451-2019-0806
16. Boyko NI, Piskarev VV, Timofeeva AA. Features of the formation of the yield of soft spring wheat in contrasting weather conditions of the forest-steppe of the Ob region. *Agricultural bulletin of Stavropol region*. 2015;(3):135—141. (In Russ.).
17. Mukhitov LA, Timoschenkova TA. Morphological features of *Triticum durum* varieties in the conditions of Orenburg Cis-Ural steppe. *Vestnik of the Orenburg state university*. 2015;(10):37—42. (In Russ.).
18. Signaevsky VD, Stepanov SA, Boldyrev VA. The impact of drought on the productivity of spring soft wheat. *Izvestiya of Saratov university. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2014;14(2):50—54. (In Russ.).
19. Osipova LV, Nilovskaya NT. Influence of an increasing soil drought on a rudimentary ear and productivity of wheat varieties. *Russian Agricultural Sciences*. 2015;(5):14—15. (In Russ.).
20. Plotnikova LY, Sagendykova AT, Kuzmina SP. Drought resistance of introgressive spring common wheat lines with genetic material of tall wheatgrass. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2023;184(2):38—51. doi: 10.30901/2227-8834-2023-2-38-51

21. Förster E, Rönz B. *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza (perevod s nemetskogo V.M. Ivanovoi)* [Methods of correlation and regression analysis (translation from German by V.M. Ivanova)]. Moscow; 1983. (In Russ.).
22. Selyaninov GT. Agricultural climate assessment. *Trudy po sel'skokhozyaistvennoi meteorologii*. 1928;(20):165—177. (In Russ.).
23. Gryaznov AA. *Yachmen' Karabalykskii (korm, krupa, pivo)* [Karabalyk barley (fodder, cereal, beer)]. Kustanai; 1996. (In Russ.).
24. Lentochkin AM. Relationship between the productivity level of an ear of spring wheat Iren and its components. In: *Century-old plant growing: conference proceedings*. Perm; 2023. p.120—125. (In Russ.).
25. Baranoba EN, Aniskina TS, Sudarikov KA, Besaliev IN. Phenotyping wheat kernel symmetry as a consequence of different agronomic practices. *Symmetry*. 2024; 16(5):548. doi: 10.3390/sym16050548

Об авторах:

Бесалиев Ишен Насанович — доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом технологии зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: orniish_tzk@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9389-1938 SPIN-код: 7462-8950

Иванова Елена Алексеевна — кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: biaelena201273@gmail.com

ORCID: 0009-0009-9260-4955 SPIN-код: 2420-8718

About the authors:

Besaliev Ishen Nasanovich — doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Grain and Forage Crops Technology, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya st., Orenburg, 460000, Russian Federation; e-mail: orniish_tzk@mail.ru

ORCID 0000-0001-9389-1938 SPIN-code: 7462-8950

Ivanova Elena Alekseevna — Candidate of Biological Sciences, Researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya st., Orenburg, 460000, Russian Federation; e-mail: biaelena201273@gmail.com

ORCID: 0009-0009-9260-4955 SPIN-code: 2420-8718



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-566-577

УДК 615.32:632.954(571.61)

EDN AIGNMK

Научная статья / Research article

Применение препарата природного происхождения для снижения стрессового воздействия гербицидов в условиях Амурской области

А.Е. Гретченко  , М.П. Михайлова

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск, Российская Федерация
 gae@vniisoi.ru

Аннотация. Приведены данные о влиянии гербицидов (действующие вещества циклоксимид и бентазон) и препарата природного происхождения (на основе вытяжки из морских водорослей) на биохимический состав семян и продуктивность растений сои. Объектом служили семена и растения среднеспелого сорта сои Невеста селекции ВНИИ сои. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на опытном поле ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои с. Садовое (Тамбовский район, Амурская область). Площадь опытной делянки 11,25 м², повторность — четырехкратная, расположение вариантов рендомизированное. Обработку посевов проводили в фазу тройчатосложного листа сои гербицидами Бизон (д.в. бентазон) в дозе 1,5 л/га и Стратос Ультра (д.в. циклоксимид) в дозе 1 л/га совместно с биопрепаратом БиоАльго в дозе 5 мл/га. Установлено, что применение препарата БиоАльго и гербицидов оказало положительное влияние на формирование продуктивности растений сои. Сохранность повысилась на 3,3 % в варианте с обработкой вегетирующих растений гербицидами и биопрепаратом относительно контрольного варианта, и на 5,5 % — относительно гербицидной обработки. Количество бобов с 1 растения увеличилось на 3,8 шт. (НСР₀₅ = 3,4), семян — на 10,1 шт. (НСР₀₅ = 7,2) и массы семян — на 1,66 г (НСР₀₅ = 1,33) в варианте с обработкой вегетирующих растений по сравнению с контролем. При этом урожайность сои по вариантам составила от 2,15 (обработка вегетирующих растений гербицидом) и 2,79 т/га (обработка вегетирующих растений биопрепаратом и гербицидом), в контроле этот показатель составил 2,10 т/га. Содержание общего белка и жира в семенах сои сорта Невеста повысилось соответственно на 2,32 и 1,07 % относительно контроля.

Ключевые слова: соя, биопрепарат, продуктивность, сохранность, урожайность, белок, жир

Вклад авторов: Авторы в равной степени внесли свой вклад в подготовку данного исследования и рукописи.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минсельхоза России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои (тема № 0820–2019–0006).

© Гретченко А.Е., Михайлова М.П., 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. Биопрепарат и гербициды для исследования были приобретены за счет собственных средств организации. Данное исследование не является рекламой.

История статьи: поступила 8 июля 2024 г., принята к публикации 9 октября 2024 г.

Для цитирования: *Гретченко А.Е., Михайлова М.П.* Применение препарата природного происхождения для повышения урожайности и качества семян сои в условиях амурской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 566—577. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-566-577

Using natural product to reduce stress effects of herbicides in the Amur region

Alina E. Gretchenko  , Maria P. Mikhailova

Russian Research Institute of Soybean, *Blagoveshchensk, Russian Federation*

 gae@vniisoi.ru

Abstract. The effect of herbicides (active ingredients — cycloxydim and bentazone) and a natural product (based on seaweed extract) on the biochemical composition of soybean seeds and the productivity of the plants were investigated. Seeds and plants of mid-season soybean cv. ‘Nevesta’ developed by Russian Research Institute of Soybean were studied. The experiments were conducted on the experimental field of Russian Research Institute of Soybean, Sadovoe village (Tambov District, Amur Region) in 2021–2023. The test plot was 11.25 m², there were four replicates, the arrangement of samples was randomized. The treatment of soybean crops was carried out in the phase of first triple leaf with herbicides: Bison (a. i. — bentazone) at a dose of 1.5 L/ha and Stratos Ultra (a. i. — cycloxydim) at a dose of 1 L/ha; and BioAlgo bioproduct at a dose of 5 ml/ha. It was found that the combined use of BioAlgo and herbicides had a positive effect on formation of soybean plant productivity. The survival rate increased by 3 % in the variant where vegetative plants were treated with herbicides and bioproduct compared to the control, and by 6 % — compared to herbicidal treatment. The number of beans per plant increased by 3.8 beans (LSD₀₅ = 3.4), number of seeds per plant increased by 10.1 seeds (LSD₀₅ = 7.2) and seed weight per plant increased by 1.66 g (LSD₀₅ = 1.33) in the variant with the treatment of vegetative plants compared with the control. At the same time, soybean yield in the variants ranged from 2.15 (treatment of vegetative plants with herbicides) and 2.79 t/ha (treatment of vegetative plants with bioproduct and herbicides), in the control this indicator was 2.10 t/ha. The content of total protein and fat in ‘Nevesta’ soybean seeds increased by 2.32 and 1.07 %, respectively, compared to the control.

Keywords: soybean, biological product, productivity, survival rate, yield, protein, fat

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

Funding. The research was supported by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation within the state order of Russian Research Institute of Soybean (No. 0820–2019–0006).

Article history: Received: 8 July 2024. Accepted: 9 October 2024.

For citation: Gretchenko AE, Mikhailova MP. Using natural product to reduce stress effects of herbicides in the Amur region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):566—577. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-566-577

Введение

Соя (*Glycine max*) — одна из самых востребованных среди сельскохозяйственных масличных и зернобобовых культур в мире, играя ключевую роль в производстве пищи, кормов и промышленных товаров. Благодаря своему аминокислотному составу соя может быть отнесена к важнейшим растительным источникам белка (протеина). Соевые бобы богаты жирами, кроме того, в состав зерна сои входит большое количество растворимых сахаров, макро- и микроэлементов, витаминов и минеральных солей [1–5].

Серьезно препятствует формированию высокого урожая сои слабая конкурентоспособность культуры по отношению к сорным растениям, особенно в начальный период вегетации. Данная культура чрезвычайно сильно угнетается сорняками в первой половине всходов до развития, что связано с ее медленным начальным ростом в период от появления всходов до образования первых тройчатых листьев [6].

На урожайность сои влияет большое количество факторов, в первую очередь, засоренность посевов. Сорные растения могут значительно снижать эффективность сбора урожая и служить переносчиками различных патогенных микроорганизмов. Эффективная борьба с сорняками является важным агротехническим приемом, обеспечивающим получение высоких и устойчивых урожаев сои [7–9]. На большинстве полей сорную растительность можно подавить, только прибегая к помощи гербицидов. С учетом видового состава сорняков, распространенных на поле, выбирают гербицид. Селективность — ключевой фактор при выборе правильного гербицида для той или иной сельскохозяйственной культуры. Понимание научных основ применения гербицидов помогает оптимизировать их использование, что приводит к повышению урожайности и качества посевного материала.

Однако применение гербицидов вызывает опасение относительно потенциального негативного воздействия на семена и окружающую среду. Использование гербицидов может вызвать временные стрессовые реакции у растений, что, в свою очередь, может повлиять на накопление питательных веществ и физиологические процессы, необходимые для формирования качественных семян. Несвоевременное применение некоторых гербицидов при нарушенном регламенте обработок, неблагоприятных погодных условиях и на ослабленных посевах приводит к стрессовому состоянию у растений [10].

Ввиду этого возрастает роль препаратов природного происхождения для снижения токсической нагрузки от применения гербицидов.

Использование биопрепаратов (природных или химически синтезированных соединений) способствует повышению урожайности, улучшению качества растительной продукции, а также экономически выгодно и экологически безопасно [10, 11]. Кроме того, биологические препараты оказывают высокую биологическую активность при низких концентрациях. Они характеризуются воздействием на иммунный потенциал растений, физиолого-биохимические процессы, протекающие в растениях, и устойчивость к фитопатогенам, а в результате этого — на качество посевного материала и урожайность [12–15].

Мы рассмотрели, как гербициды и их совместное применение с биопрепаратом влияет на качество семян сои и продуктивность культуры.

Цель исследования — изучить влияние гербицидов Бизон и Стратос Ультра и препарата природного происхождения БиоАльго на продуктивность среднеспелого сорта сои Невеста в условиях Приамурья.

Материалы и методы исследования

Полевой опыт (2021–2023 гг.) проводили на опытном поле ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои» (с. Садовое Тамбовского района Амурской области). Почва опытного участка — луговая черноземовидная маломощная в комплексе со среднемощной, гумусовый слой (А + АВ) составляет 20–30 см. Содержание гумуса — 2,3...2,7 %, рН — 5,4 ед. В составе поглощенных катионов преобладает ион кальция. Степень насыщенности основаниями высокая. Данный тип почвы имеет особенность, которая заключается в сравнительно высоком потенциальном плодородии по валовым запасам соединений азота и фосфора и низким содержанием подвижных форм минерального азота и фосфора, 25...42 и 28...32 мг/кг почвы соответственно, а содержание подвижного калия — очень высокое (170...240 мг/кг почвы).

Метеорологические условия вегетационного периода 2021 г. по температуре воздуха и выпавшим осадкам были удовлетворительными. Сумма осадков за вегетационный период сои составляла 509 мм, что превысило среднемноголетние значения на 68 мм. Выпадение осадков было неравномерным, избыточным увлажнением почвы характеризовались май и август, когда превышение среднемноголетней нормы составило 57,1 и 91,2 мм соответственно. Агрометеорологические условия августа отличались преимущественно теплой и дождливой погодой. Сумма выпавших осадков за месяц превысила климатическую норму, что способствовало повышенной распространенности фитопатогенов и снижению качества урожая.

Вегетационный период 2022 г. по температуре воздуха и выпавшим осадкам имели некоторые отклонения от среднемноголетней нормы, но в целом растения сои были хорошо обеспечены теплом и влагой. Температура в мае была неустойчива, отмечены отрицательные аномалии среднесуточной температуры воздуха. Температурный фон июня и июля был выше нормы. Осадки, выпавших в июне, были преимущественно ливневого характера и превысили многолетнюю норму на 15 мм (составили 100 мм). Сумма выпавших осадков за июль составила 32 % климатической нормы. Преобладание положительных температур в течение вегетационного периода сои и достаточная влагообеспеченность почвы способствовали равномерному созреванию и получению высокого урожая семян.

Погодные условия 2023 г. были удовлетворительными для роста и развития растений сои. В мае среднемесячная температура превышала многолетние показатели на 1,0 °С. Температура июля и августа превышала климатическую норму на 1,0 и 1,1 °С соответственно. Количество осадков, выпавших в мае и июне, было на уровне среднемноголетней нормы. Неустойчивая дождливая погода августа, где

количество выпавших осадков превысило среднемноголетнюю норму почти в два раза, характеризовалась переувлажнением почвы. Температурный режим сентября был выше климатической нормы, как и количество осадков (табл. 1).

Таблица 1

Метеорологические данные за вегетационный период сои в 2021–2023 гг.

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С				Количество осадков, мм			
	2021	2022	2023	Среднее многолетнее	2021	2022	2023	Среднее многолетнее
Май	11,9	11,9	13,4	12,4	96,1	61,0	41,0	39,0
Июнь	20,2	19,5	18,7	18,8	57,1	100,0	79,0	85,0
Июль	23,4	23,4	22,5	21,5	104,2	38,0	73,0	106,0
Август	18,8	18,8	20,3	19,2	194,2	121,0	194,0	103,0
Сентябрь	14,2	13,1	13,2	12,4	35,9	39,0	102,0	66,0

Источник: выполнено А.Е. Гретченко, М.П. Михайловой.

Table 1

Meteorological data for the soybean growing season in 2021–2023

Month	Average daily air temperature, °C				Amount of precipitation, mm			
	2021	2022	2023	Average	2021	2022	2023	Average
May	11.9	11.9	13.4	12.4	96.1	61.0	41.0	39.0
June	20.2	19.5	18.7	18.8	57.1	100.0	79.0	85.0
July	23.4	23.4	22.5	21.5	104.2	38.0	73.0	106.0
August	18.8	18.8	20.3	19.2	194.2	121.0	194.0	103.0
September	14.2	13.1	13.2	12.4	35.9	39.0	102.0	66.0

Source: created by A.E. Gretchenko, M.P. Mikhailova.

Общая площадь делянки опыта — 11,25 м², учетная — 2,25 м², повторность 4-кратная. Расположение делянок — рендомизированное. Способ посева широкорядный, ширина междурядий 45 см, норма высева 47...50 шт. всхожих семян на 1 м².

Объект исследований — среднеспелый сорт сои Невеста, включен в Госреестр по Дальневосточному региону в 2018 г. Растения детерминантного типа развития, средней высоты. Цветки белые, семена желтые с желтым рубчиком. Вегетационный период в среднем составляет 111 дней. Масса 1000 семян — 173 г. Потенциальная урожайность сорта — 3,24 т/га, содержание в семенах белка до 40,7 %. По результатам 2023 г. на территории Амурской области объем высеянных семян сорта сои Невеста составил 967,6 т.

Схема опыта включала следующие варианты: 1) дистиллированная вода (обработка семян и вегетирующих растений) — контроль; 2) дистиллированная вода (обработка семян) + Стратос Ультра и Бизон (обработка вегетирующих растений); 3) дистиллированная вода (обработка семян) + Стратос Ультра и Бизон + БиоАльго (обработка вегетирующих растений). Обработку вегетирующих растений сои гербицидами Бизон (действующее вещество бентазон) в дозе 1,5 л/га и Стратос Ультра

(действующее вещество циклоксимид) в дозе 1 л/га и биопрепаратом БиоАльго в дозе 5 мл/га проводили в фазе тройчатосложного листа при расходе рабочего раствора 200 л/га.

Гербицид Бизон представляет собой контактно-системный гербицид, содержащий бентазон и тифенсульфурон-метил, является одним из средств защиты растений, используемых для контроля широколиственных сорняков в посевах сои. Его действие направлено на борьбу с двудольными сорняками и активно поглощается листьями растений. Исследования показывают, что применение данного гербицида может способствовать увеличению урожайности сои, так как он создает более благоприятные условия для роста растений, снижая конкуренцию со стороны сорняков.

Гербицид Стратос Ультра, в свою очередь, применяется для контроля злаковых сорняков. Он действует системно, проникая в растения и блокируя биосинтез жирных кислот, а также нарушает фотосинтетические процессы, тем самым вызывая гибель сорняков. Данный гербицид эффективен против широкого спектра однолетних и многолетних сорных растений, включая злаковые и двудольные сорняки.

Биопрепарат БиоАльго — продукт из высококачественного органического концентрата морских бурых водорослей северных широт с высоким содержанием микроэлементов, гормонов растительного происхождения, аминокислот и витаминов. Выступая биостимулятором, антистрессантом с фунгицидным, бактерицидным, инсектицидным действиями, обеспечивает устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды [10].

Результаты исследования и обсуждение

Проанализировав белковую продуктивность и качество протеина семян сои сорта Невеста, отметили повышение содержания общего белка. Наибольшее значение — 39,20 %, превысившее контроль на 2,32 %, — выявлено в варианте при совместном использовании биопрепарата и гербицидов для обработки вегетирующих растений (табл. 2).

Таблица 2

Влияние биопрепарата и гербицидов на аминокислотный состав белка, %, в семенах сои сорта Невеста

Обработка		Общий белок	в т. ч. аминокислоты			
семян	вегетирующих растений		Лизин	Гистидин	Валин	Метил гистидин
Контроль (без обработки)		36,88 ± 0,22	6,74 ± 0,11	5,99 ± 0,26	7,05 ± 0,49	1,99 ± 0,21
Вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га)	38,37 ± 0,20	6,74 ± 0,11	5,74 ± 0,28	7,01 ± 0,56	1,92 ± 0,10
Вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га) + БиоАльго (5 мл/л)	39,20 ± 0,42	6,68 ± 0,25	4,15 ± 0,42	6,86 ± 0,55	1,87 ± 0,20

Источник: выполнено А.Е. Гретченко, М.П. Михайловой.

Table 2

Effect of bioproduct and herbicides application on amino acid composition of protein, %, in seeds of soybean cv. Nevesta

Treatment of		Total protein	including amino acids			
seed	vegetative plants		Lysine	Histidine	Valin	Methyl histidine
Control (without treatment)		36.88 ± 0.22	6.74 ± 0.11	5.99 ± 0.26	7.05 ± 0.49	1.99 ± 0.21
Water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha)	38.37 ± 0.20	6.74 ± 0.11	5.74 ± 0.28	7.01 ± 0.56	1.92 ± 0.10
Water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha) + Bio-Algo (5 ml/L)	39.20 ± 0.42	6.68 ± 0.25	4.15 ± 0.42	6.86 ± 0.55	1.87 ± 0.20

Source: created by A.E. Gretchenko, M.P. Mikhailova.

Аминокислотный состав изучаемого сорта сои изменялся в зависимости от варианта обработки и характеризовался относительно невысоким содержанием некоторых незаменимых аминокислот, их доля в белковом комплексе составила 19,6...21,8 %, в т.ч. гистидина — 4,1...5,9 %, лизина — 6,6...6,7 %, валина — 6,8...7,0 %, метилгистидина — 1,8...2,0 %.

В среднем за три года исследований содержание жира в семенах сои изменялось от 18,18 до 19,25 % в зависимости от варианта обработки. Применение гербицидов по вегетирующим растениям сои привело к снижению содержания жира на 0,33 % по сравнению с контролем. Наибольшее увеличение отмечено в варианте с обработкой вегетирующих растений гербицидом Бизон и Стратос Ультра совместно с препаратом БиоАльго — на 0,83 % относительно контроля и 1,07 % — относительно гербицидной обработки (табл. 3).

Таблица 3

Влияние биопрепарата и гербицидов на количественный и качественный состав жира, %, в семенах сои сорта Невеста

Обработка		Жир	Ненасыщенные жирные кислоты			
перед посевом	по вегетирующим растениям		Линоленовая	Линолевая	Олеиновая	Стеариновая
Контроль (без обработки)		18,42 ± 0,61	8,84 ± 0,19	51,46 ± 0,47	21,73 ± 0,66	3,25 ± 0,24
Вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га)	18,18 ± 0,42	9,17 ± 0,19	51,18 ± 0,12	21,57 ± 0,69	3,27 ± 0,17
Вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га) + БиоАльго (5 мл/л)	19,25 ± 0,43	7,80 ± 0,36	51,46 ± 0,45	24,80 ± 0,50	3,23 ± 0,07

Источник: выполнено А.Е. Гретченко, М.П. Михайловой.

Table 3

The effect of bioproduct and herbicides on quantitative and qualitative composition of fat, %, in seeds of soybean cv. Nevesta

Treatment		Fat	Unsaturated fatty acids			
before sowing	of vegetative plants		Linolenic	Linoleum	Oleic acid	Stearic acid
Control (without treatment)		18.42 ± 0.61	8.84 ± 0.19	51.46 ± 0.47	21.73 ± 0.66	3.25 ± 0.24
Water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha)	18.18 ± 0.42	9.17 ± 0.19	51.18 ± 0.12	21.57 ± 0.69	3.27 ± 0.17
Water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha) + Bio-Algo (5 ml/L)	19.25 ± 0.43	7.80 ± 0.36	51.46 ± 0.45	24.80 ± 0.50	3.23 ± 0.07

Source: created by A.E. Gretchenko, M.P. Mikhailova.

Продуктивность растений сои во многом определяется начальной густотой стояния растений и их сохранностью к уборке.

Установлено, что совместное использование биопрепарата с гербицидами для обработки вегетирующих растений способствовало увеличению сохранности растений перед уборкой. Таким образом, в данном варианте сохранность возросла на 5,5 % относительно применения только гербицидной обработки (табл. 4).

Таблица 4

Густота стояния и сохранность растений сои сорта Невеста, среднее за 2021–2023 гг.

Вариант опыта		Густота всходов, шт/м ²	Полевая всхожесть, %	Густота стояния к уборке, шт/м ²	Сохранность, %
Контроль (без обработки)		46,3	90,5	44,2	95,5
Дист. вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га)	47,8	91,0	44,6	93,3
Дист. вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га) + БиоАльго (5 мл/л)	48,7	90,8	48,1	98,8

Источник: выполнено А.Е. Гретченко, М.П. Михайловой.

Table 4

The plant density and survival of 'Nevesta' soybean plants in 2021–2023

Variant		Seedling density, plants per m ²	Germination, %	Plant density before harvesting, plants per m ²	Survival, %
Control (no treatment)		46.3	90.5	44.2	95.5
Distilled water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha)	47.8	91.0	44.6	93.3
Distilled water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha) + Bio-Algo (5 ml/L)	48.7	90.8	48.1	98.8

Source: created by A.E. Gretchenko, M.P. Mikhailova.

Установлено положительное влияние опытных вариантов на элементы структуры урожая изучаемого сорта сои. Так, обработка вегетирующих растений привела к увеличению количества бобов на 3,8 шт. ($НСР_{05} = 3,4$), семян — на 10,1 шт. ($НСР_{05} = 7,2$) и массы семян — на 1,66 г ($НСР_{05} = 1,33$) с 1 растения в сравнении с элементами структуры в контрольном варианте. В варианте обработки вегетирующих растений только гербицидами структурные показатели по отношению к контролю изменились несущественно (табл. 5).

Таблица 5

Биометрические показатели растений сои сорта Невеста, среднее за 2021–2023 гг.

Вариант опыта		Количество, шт./ на 1 раст.		Масса семян с 1 растения, г
Обработка семян перед посевом	Обработка вегетирующих растений	бобов	семян	
Контроль (без обработки)		16,0	38,0	5,61
Дистиллированная вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га)	15,9	38,3	5,60
Дистиллированная вода	Стратос Ультра (1 л/га) + Бизон (1,5 л/га) + БиоАльго (5 мл/л)	19,8	48,1	7,27
НСР ₀₅ , шт./ на 1 раст.		3,4	7,2	1,33

Источник: выполнено А.Е. Гретченко, М.П. Михайловой.

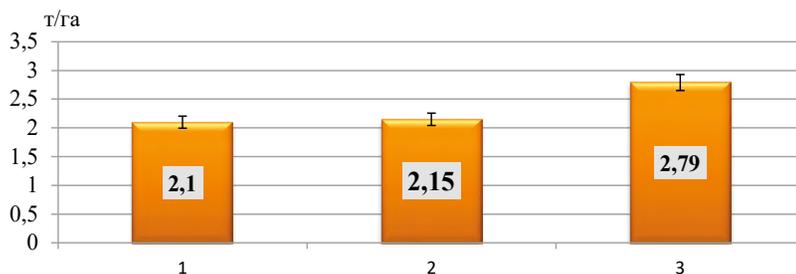
Table 5

Biometric indicators of 'Nevesta' soybean plants in 2021–2023

Variant		Number per plant		Seed weight per plant, g
Seed treatment before sowing	Treatment of vegetative plants	beans	seeds	
Control (no treatment)		16.0	38.0	5.61
Distilled water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha)	15.9	37.3	5,60
Distilled water	Stratos Ultra (1 L/ha) + Bison (1.5 L/ha) + Bio-Algo (5 ml/L)	19.8	48.1	7,27
LSD ₀₅		3.4	7.2	1.33

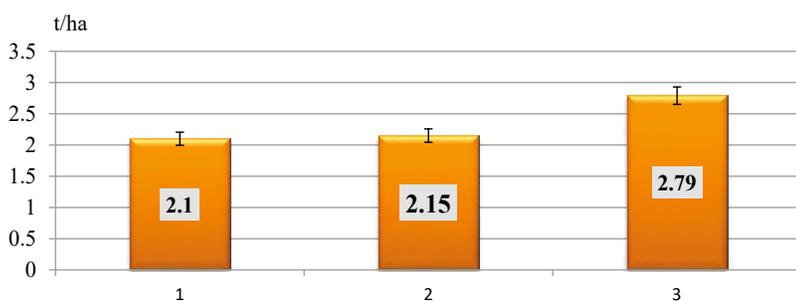
Source: created by A.E. Gretchenko, M.P. Mikhailova.

Эффективное применение гербицидов и биопрепарата позволило снизить конкурентное давление со стороны сорняков, что, в свою очередь, способствовало увеличению урожайности сои сорта Невеста. При обработке вегетирующих растений БиоАльго на фоне применения гербицидов отмечено статистически достоверное увеличение урожайности культуры. В среднем за годы исследований она изменялась по вариантам от 2,15 до 2,79 т/га, в контроле этот показатель составил 2,10 т/га ($НСР_{05} = 0,35$) (рис.).



Биологическая урожайность сои сорта Невеста, среднее за 2021–2023 гг., т/га: 1 – контроль; 2 – гербициды (обработка вегетирующих растений); 3 – гербициды + биопрепарат (обработка вегетирующих растений)

Источник: выполнено А.Е. Гретченко, М.П. Михайловой.



Biological yield of soybean cv. Nevesta in 2021–2023, t/ha: 1 – control; 2 – herbicides (treatment of vegetative plants); 3 – herbicides + bioproduct (treatment of vegetative plants)

Source: created by A.E. Gretchenko, M.P. Mikhailova.

Заключение

Применение препарата природного происхождения БиоАльго совместно с гербицидами Бизон и Стратос Ультра для обработки вегетирующих растений сои сорта Невеста способствовало снижению стрессового воздействия гербицида на растения, что оказало положительное влияние на биохимический состав и формирование урожайности. Содержание общего белка в семенах повысилось на 2,32 % относительно контроля. Содержание жира по сравнению с контрольными семенами увеличилось на 0,83 %.

При этом количество бобов возросло относительно контроля на 3,8 шт. ($НСР_{05} = 3,4$), семян — на 10,1 шт. ($НСР_{05} = 7,2$) и массы семян — на 1,66 г ($НСР_{05} = 1,33$) с 1 растения. Наибольшая урожайность — 2,79 т/га ($НСР_{05} = 0,35$), превысившая контроль на 0,69 т/га, — получена в варианте с совместной обработкой вегетирующих растений биопрепаратом и гербицидами.

Список литературы

1. Кошкарлова Т.С., Зейлигер А.М., Зинченко Е.В., Ермолаева О.С. Сравнительный анализ раннеспелых сортов сои в условиях юга России // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 6. С. 15—20. <https://doi.org/10.17513/use.37835>
2. Левченкова А.Н. Оценка влияния различных гуминовых препаратов на рост и развитие различных сельскохозяйственных культур // *Сборник докладов XI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Великие Луки*, 2016. С. 12–16.
3. Оразаева И.В., Муравьев А.А. Показатели продуктивности сортов сои в зависимости от инокуляции семян и азотного удобрения // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 4. С. 34—37. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10407
4. Jumrani K., Bhatia V.S. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean // *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2019. Vol. 25. No. 3. P. 667—681. doi: 10.1007/s12298-019-00657-5
5. Иваненко А.С., Созонова А.Н. Хозяйственно-биологическая и селекционная ценность скороспелых сортов сои в лесостепной зоне Зауралья // *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2020. № 10 (183). С. 3—16. doi: 10.33920/sel-05-2010-01
6. Мельник А.Ф., Кондрашин Б.С., Кирсанова Е.В. Урожайность сои в зависимости от способа посева и сроков обработки гербицидами // *Вестник аграрной науки*. 2022. № 5. С. 114—118. doi: 10.17238/issn2587-666X.2022.5.114
7. Кравцова Н.Н., Бойко Е.С., Волохатых А.С. Эффективность послевсходовых гербицидов в посевах сои // *The scientific heritage*. 2021. № 77. С. 9—11.
8. Синеговская В.Т., Чепелев Г.П. Продуктивность посевов сои в зависимости от совместного применения гербицидов и биологически активных веществ в Приамурье // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2018. № 2 (46). С. 44—51. doi: 10.24411/1999-6837-2018-12027
9. Лысенко Н.Н. Гербициды в посевах сои // *Вестник аграрной науки*. 2018. № 2 (71). С. 19—28. doi: 10.15217/issn2587-666X.2018.2.19
10. Гретченко А.Е., Михайлова М.П., Серебренникова Ю.О. Формирование продуктивности сои сорта Журавушка при использовании биопрепаратов и гербицидов в условиях Приамурья // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 6. С. 55—60. doi: 10.53859/02352451_2023_37_6_55
11. Сырмолот О.В., Байделюк Е.С., Кочева Н.С. Применение биопрепаратов и стимуляторов роста при возделывании сои в Приморском крае // *Достижение науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 8. С. 70—74.
12. Çiğ F., Erman M., Sonkurt M., Çiğ A. The role of beneficial microorganisms in the protection of plants growing in natural landscape areas // *Current Trends in Science and Landscape Management* / R. Efe, M. Zencirkiran, J.A. Wendt, Z. Tumsavas, H. Unal, B. Borisova (eds.). 2017, pp. 427—443.
13. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // *Плодородие*. 2016. № 5. С. 28—32.
14. Минченко Ж.Н. Эффективность различных микроудобрений при возделывании сои // *Аграрный вестник Урала*. 2022. № 9 (224). С. 22—32. doi: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-22-32
15. Kostjukov V.V., Nakonechnaya I.V., Kosheleva O.V., Apolonina T.M., Ivchenko V.M., Shcherbakov N.A. et al. Farm testing of non-insecticidal control of soybean and stevia pests in Krasnodar territory // *Entomological Review*. 2015. Vol. 95. P. 441—446. doi: 10.1134/S0013873815040053

References

1. Koshkarova TS, Zeyliger AM, Zinchenko EV, Ermolaeva OS. Comparative analysis of early-maturing soybean varieties under the conditions of the south of Russia. *Advances in current natural sciences*. 2022;(6):15—20. (In Russ). <https://doi.org/10.17513/use.37835>
2. Levchenkova AN. Evaluation of the influence of various humic preparations on the growth and development of various agricultural crops. In: *XI International scientific conference of young scientists*. Velikie Luki; 2016. p.12—16. (In Russ).
3. Orazavaeva IV, Muravev AA. Productivity of soybean varieties depending on seed inoculation and nitrogen fertilizer. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2018;32(4):34—37. (In Russ). doi: 10.24411/0235-2451-2018-10407

4. Jumrani K, Bhatia VS. Interactive effect of temperature and water stress on physiological and biochemical processes in soybean. *Physiol Mol Biol Plants*. 2019;25:667–681. doi: 10.1007/s12298-019-00657-5
5. Ivanenko AS, Sozonova AN. Economic and biological and selection value of early ripening soybean varieties in the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Feeding of agricultural animals and feed production*. 2020;(10):3–16. (In Russ.) doi: 10.33920/sel-05-2010-01
6. Melnik AF, Kondrashin BS, Kirsanova EV. Soybean yield depending on the method of sowing and the timing of herbicide treatment. *Bulletin of agrarian science*. 2022;(5):114–118. (In Russ). doi: 10.17238/issn2587-666X.2022.5.114
7. Kravtsova N, Boyko E, Volokhatykh A. Effectiveness of post-emergence herbicides in soybean crops. *The scientific heritage*. 2021;(77–2):9–11. (In Russ). doi: 10.24412/9215-0365-2021-77-2-9-11
8. Sinegovskaya VT, Chepelev GP. Productivity of soybean crops depending on joint application of herbicides and biologically active substances in Priamurye. *Far East agrarian herald*. 2018;(2):44–51. (In Russ). doi: 10.24411/1999-6837-2018-12027
9. Lysenko NN. Herbicides in soy crops. *Bulletin of agrarian science*. 2018;(2):19–28. (In Russ). doi: 10.15217/issn2587-666X.2018.2.19
10. Gretchenko AE, Mikhailova MP, Serebrennikova YO. Formation of the productivity of soybean variety Zhuravushka using biological products and herbicides under the conditions of the Amur region. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2023;37(6):55–60. (In Russ). doi: 10.53859/02352451_2023_37_6_55
11. Syrmolot OV, Baidelyuk ES, Kocheva NS. The use of biological products and growth stimulants in the cultivation of soybean in the Primorsky territory. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2020;34(8):70–74. (In Russ). doi: 10.24411/0235-2451-2020-10812
12. Çiğ F, Erman M, Sonkurt M, Çiğ A. The role of beneficial microorganisms in the protection of plants growing in natural landscape areas. In: Efe R, Zencirkiran M, Wendt JA, Tumsavas Z, Unal H, Borisova B. (eds.) *Current Trends in Science and Landscape Management*. Sofija; 2017. pp. 427–443.
13. Tikhonovich IA, Zavalin AA. Application potential of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms for increasing the efficiency of the agroindustrial complex and improving the agroecological situation in Russian Federation. *Plodorodie*. 2016;(5):28–32. (In Russ).
14. Minchenko ZN. The effectiveness of various microfertilizers in the cultivation of soybeans. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2022;(9):22–32. (In Russ). doi: 10.32417/1997-4868-2022-224-09-22-32
15. Kostjukov VV, Nakonechnaya IV, Kosheleva OV, Apolonina TM, Ivchenko VM, Shcherbakov NA, et al. Farm testing of non-insecticidal control of soybean and stevia pests in Krasnodar territory. *Entomological Review*. 2015;95:441–446. doi: 10.1134/S0013873815040053

Об авторах:

Гретченко Алина Евгеньевна — научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, Российская Федерация, 675027, Амурская обл., г. Благовещенск, Игнатъевское ш., д. 19; e-mail: gae@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0003-3930-5672 SPIN-код: 3750-4348

Михайлова Мария Павловна — старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биохимии растений, ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, Российская Федерация, 675027, Амурская обл., г. Благовещенск, Игнатъевское ш., д. 19; e-mail: mmp@vniisoi.ru

SPIN-код: 9142-3480

About authors:

Gretchenko Alina Evgenievna — Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoe Highway, Amur region, Blagoveshchensk, 675027, Russian Federation; e-mail: gae@vniisoi.ru

ORCID: 0000-0003-3930-5672 SPIN-code: 3750-4348

Mikhailova Maria Pavlovna — Senior Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Biochemistry, Russian Research Institute of Soybean, 19 Ignatievskoe Highway, Amur region, Blagoveshchensk, 675027, Russian Federation; e-mail: mmp@vniisoi.ru

SPIN: 9142-3480



Генетика и селекция растений

Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-578-591

УДК 631.52:635.342

EDN AKCHZB

Обзорная статья / Review article

Маркерная селекция капусты белокочанной

С.А. Бурсаков  , Г.И. Карлов , П.Н. Харченко 

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии
(ВНИИСБ), Москва, Российская Федерация
 sergeymoscu@gmail.com

Аннотация. Современное ускоренное развитие сельскохозяйственного производства актуализирует развитие новых технологий, направленных на более экономичное и экологичное получение высококачественной продукции с заданным качеством и свойствами. Приобретает популярность и востребованность метод молекулярных маркеров, значительно повышающий эффективность селекции. Технология маркерной селекции дает возможность ускорить отбор требуемых характеристик растений на ранних стадиях их развития до момента их проявления во взрослом состоянии, повышая эффективность отбора вне зависимости от влияния окружающей среды. Эта технология применяется к широкому спектру сельскохозяйственных культур, включая капусту белокочанную, возделываемую на значительных площадях во всем мире в связи с высокой востребованностью и пользой для здоровья. Несмотря на то, что селекционерами создано значительное число новых сортов и гибридов капусты белокочанной с индивидуальными особенностями, спрос на увеличение ее урожайности с единицы площади становится все более высоким. Возрастает интерес к молекулярной маркерной селекции и становятся актуальными манипулирования агрономическими и экономически важными признаками перспективных линий, но отсутствует обобщение полученного исследовательского материала. Проведен поиск доступной современной специализированной литературы и актуальных научных данных за последнее двадцатилетие и выполнен систематический обзор современного состояния, выявлены главные и наиболее востребованные направления исследований в области маркерной технологии — маркеропосредованной селекции капусты белокочанной. Проана-

© Бурсаков С.А., Карлов Г.И., Харченко П.Н., 2024



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

лизируются маркеры биотического и абиотического стресса, а также качества капусты белокочанной. Подтверждена приоритетность направления исследований и слабая освещенность в литературе. Отмечена очень малая доля перспективных KASP маркеров, а также недостаточная изученность различных групп спелости сортов капусты белокочанной. Предпринятая систематизация имеющихся знаний с акцентом на проблемные направления может быть полезна для селекционеров и производителей.

Ключевые слова: молекулярные маркеры, *Brassica oleracea* L. convar. *capitata* L. Alef. var. *capitata* L. f. *alba* DC, генетическое улучшение, маркеропосредованная селекция

Вклад авторов: Бурсаков С.А. — разработка концепции, подготовка и редактирование текста; Карлов Г.И. и Харченко П.Н. — обсуждение и утверждение окончательного варианта статьи.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Государственного задания FGUM-2024-0006.

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

История статьи: поступила 4 июля 2024 г., принята к публикации 4 сентября 2024 г.

Для цитирования: Бурсаков С.А., Карлов Г.И., Харченко П.Н. Маркерная селекция капусты белокочанной // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 578—591. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-578-591

Marker breeding of white cabbage

Sergey A. Bursakov  , Gennady I. Karlov , Petr N. Kharchenko 

All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation
 sergeymoscu@gmail.com

Abstract. Modern accelerated development of agricultural production actualizes the development of new technologies aimed at more economical and environmentally friendly production of high-quality products with specified quality and properties. In this regard, the method of molecular markers, which significantly increases the efficiency of breeding, is gaining wide popularity and demand. The technology of marker-assisted selection accelerates selection of the required characteristics of plants at early stages of their development until their manifestation in the adult state, increasing its efficiency regardless of the environment influence. This technology is widely applied to a huge range of crops, including white cabbage. This crop is cultivated over significant areas worldwide and is important due to its high demand and health benefits. Although a significant number of new varieties and hybrids of white cabbage with individual characteristics have been developed by breeders to date, the demand for increasing its yield is becoming increasingly high. Therefore, interest in molecular marker-assisted breeding is increasing and manipulation of agronomic and economically important traits of promising lines is becoming relevant. The lack of generalizations of material in this area is essential. Therefore, the aim of this work was to review the current state of the issue, to identify the main and most demanded directions of research in the field of marker technology in application to white cabbage and to draw attention to this currently relevant topic. Accordingly, we conducted a search and systematic review of available modern specialized literature and relevant recent scientific data over the last two decades on marker-mediated breeding of white cabbage. In the study, markers of biotic and abiotic stress as well as quality of white cabbage were analyzed. As the collected information on markers shows, scientific research in these areas is prioritized but poorly covered in the literature. A very small proportion of promising KASP markers was observed, as well as insufficient research on the different ripeness groups of white cabbage varieties. The systematization of the available knowledge with emphasis on problem areas undertaken in this review may be important and useful for breeders and producers for their practical application in practice.

Keywords: molecular markers, *Brassica oleracea* L. convar. *capitata* L. *Alef. var. capitata* L. f. *alba* DC, genetic improvement, marker-assisted selection

Authors' contribution. Bursakov S.A. — concept development, scientific writing; Karlov G.I. and Kharchenko P.N. — discussion and approval of the final version of the manuscript.

Funding. The study was supported by State Assignment No. FGUM-2024-0006.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 4 July 2024; accepted 4 September 2024.

For citation: Bursakov SA, Karlov GI, Kharchenko PN. Marker breeding of white cabbage. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):578—591. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-578-591

Введение

Типичное перекрестноопыляемое крестоцветное растение и важная овощная культура — капуста белокочанная (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *alba* DC) — является одним из наиболее культивируемых и популярных овощей в мире [1] и имеет большое экономическое значение как ценный источник биологически активных, полезных для здоровья веществ [2].

С продолжающимся ростом численности населения, выводом значительных площадей обрабатываемых земель из использования и в целом с увеличением интенсификации сельского хозяйства, спрос на увеличение урожайности капусты с единицы площади становится все более высоким. На производство белокочанной капусты отрицательно влияют как факторы окружающей среды, так и вирусные, бактериальные и грибковые патогены, вызывающие разнообразные заболевания. Большое влияние на улучшение сельскохозяйственных культур, включая капусту белокочанную, а также на ее урожайность, оказывает как ранее, так и сейчас селекция растений. Один из подходов, выравнивающих негативное влияние различных факторов, — поиск и использование в селекции собственных генов устойчивости растения-хозяина *Brassica* [3]. Открытие таких генов, ассоциированных с различными стрессами, и их картирование, а также разработка маркеров, транскриптомный анализ и знания в области регуляции физиологических и биосинтетических механизмов обеспечили значительное продвижение в области селекции капусты белокочанной [4]. Особый вклад в области селекции вносит наличие эталонного генома белокочанной капусты¹ [5].

В генетике и селекции растений все более активно используются генотипирование и молекулярная селекция с обнаружением соответствующих маркеров, т. е. метод, при котором процесс селекции осуществляется на основе маркера, а не самого признака. Использование молекулярных маркеров повышает вероятность обнаружения присутствия генотипа, сочетающего в себе выгодные аллели в популяции [6—8]. Молекулярные или генетические ДНК-маркеры представляют собой

¹ Brassicaceae Database. URL: <http://brassicadb.org> (дата обращения: 25.06.2024).

последовательности нуклеиновых кислот, расположенные рядом с целевыми генами желаемых признаков. Они используются для характеристики архитектуры генома и исследования полиморфизмов генов [9], имеющего конечной целью увеличение урожая белокочанной капусты и улучшение его качества [10]. Селекция с помощью ДНК-маркеров может помочь в поиске источников и доноров генетической устойчивости к заболеваниям или стрессовым условиям выращивания капусты [11, 12]. Использование этих методов позволяет значительно ускорить и удешевить селекционный процесс, сократить затраты труда. Достоинства ДНК-маркерного отбора заключаются в редкой зависимости от условий окружающей среды, а также в том, что его можно проводить на ранних стадиях развития у большого количество вариантов, тестируя одновременно несколько признаков в одном образце [11, 13]. Существует значительный пул разных типов молекулярно-генетических маркеров, позволяющих оценивать генетическое разнообразие ДНК. Это основа всех последующих теоретических и прикладных исследований [14]. Селекция на базе специфических маркеров, связанных с хозяйственно-ценными признаками, обеспечивает прямой генотипический отбор и эффективное использование генов для выращивания новых сортов капусты белокочанной, обладающей новыми полезными качествами [15]. В качестве молекулярных маркеров используют простые повторы последовательности (SSR), маркеры вставки-делеции (InDel) и конкурентную аллель-специфическую ПЦР (KASP). Однонуклеотидные полиморфизмы, маркеры SNPs имеют много преимуществ: высокая распространенность в геноме, низкая частота мутаций, диморфизм, высокая стабильность и возможность автоматизированного анализа с высокой пропускной способностью. Анализы KASP обеспечивают гибкость в отношении количества SNPs, используемых для генотипирования. Точность анализов KASP высокая, а стоимость низкая. Стоимость одного SNP снижается с увеличением их количества. Эта особенность дает преимущество KASP-анализу перед другими генотипированиями SNP [16].

В этом обзоре поставлена задача — выявление, оценка и обобщение результатов исследований по доступным молекулярным маркерам, а также выяснение основных направлений развития маркерной селекции белокочанной капусты для ее улучшения.

Маркеры качества капусты и абиотического стресса

Низкие температуры значительно влияют на рост и развитие растений, снижая продуктивность сельскохозяйственных культур [17—21]. Считается, что устойчивость к низким температурам или холодной стресс у растений возникает при охлаждении ($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и заморозке ($< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) [22]. Зимняя выживаемость — важная характеристика *Brassica*, особенно капусты, высеваемой в северном климате, на которую также влияют генетические вариации для других регулируемых холодом признаков, таких как устойчивость к заморозкам, яровизация, время созревания и характеристики листьев [23].

На базе охарактеризованных аллельных вариаций гена *CSDPs* был разработан молекулярный маркер, выявляющий толерантность к низким температурам у капусты (*Brassica oleracea var. capitata*) [24]. Растительные *CSDP* имеют дополнительные богатые глицином области, перемежающиеся с цинковыми пальцами типа ССНС (ZCCНС) в С-терминальной части [25]. Функция этих доменов ССНС в устойчивости к низким температурам пока не выяснена. Толерантные к низким температурам инбредные линии содержали вариантный тип *BoCSDP5v*, который кодирует дополнительный домен цинкового пальца ССНС на С-конце и ассоциируется с толерантностью к низким температурам. Аллельная вариация гена *BoCSDP5* производит разные белки с разным количеством доменов цинковых пальцев ССНС. Маркер толерантности к низким температурам, созданный на основе полиморфизма между *BoCSDP5* и *BoCSDP5v*, был подтвержден на образцах, использованных в предыдущей валидации маркера *B. oleracea* CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED 1 (*BoCCA1*). Для достоверной идентификации капусты, устойчивой к низким температурам, необходимо использование двух маркеров одновременно (*BoCCA1*; *BoCSDP5v*) [24].

Кочанная капуста относится к цветущим растениям, чувствительным к яровизации. *BoFLC2* является важным фактором транскрипции, который позволяет растениям капусты оставаться в вегетативной фазе в ответ на холод. Впервые в исследовании Ли с соавторами [26] было показано, что *BoFLC2E* и *BoFLC2L*, клонированные из капусты с чрезвычайно ранним и чрезвычайно поздним цветением, соответственно, демонстрировали индел длиной 215 п.н. в интроне I, три несинонимичных SNP и индел длиной 3 п.н. в экзоне II [26]. *BoFLC2L* связан с поздним цветением, что подтверждено с использованием маркера *indel-FLC2*. Делеция 215 п.н. в интроне I *BoFLC2*, не вызывая альтернативного сплайсинга, замедляет его подавляющую активность (сайленсинг *BoFLC2L*) за счет обратной связи с основными генами комплекса PHD-PRC2, что приводит к снижению уровня их транскрипции и в конечном итоге к позднему цветению капусты. Среди генетических вариаций *BoFLC2* делеция 215 п.н. в интроне I была основной причиной задержки цветения. Это исследование не только предоставляет эффективную молекулярно-маркерную селекционную стратегию для выявления устойчивых и селекции улучшенных сортов капусты, но и открывает путь к изучению механизмов времени цветения у растений, чувствительных к яровизации [26].

Другая исследовательская группа обнаружила полиморфный ген *BoFLC1.C9* (*Bo9gl73400*), предложенный в качестве молекулярного маркера [27]. Вставка длиной 67 п.н. во втором интроне этого гена *BoFLC1.C9* в линии раннего цветения вызвала отчетливую мутацию, нарушила функцию гена и показала более низкую экспрессию, вызвавшую раннее цветение. Этот «индел» подтвержденный маркером F7R7, основанным на вставке, позволяет характеризовать различные сроки цветения у линий капусты. Вариабельность времени цветения в этом случае достигает 83 % для особей F2 и 80 % для коммерческих линий. Маркер F7R7 полезен в селекции для отбора сортов капусты с разным временем цветения перед выращиванием [23].

У высших растений важную роль в устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам играет кутикулярный воск, отложенный на поверхности клеток эпидермиса [28]. Для защиты от ультрафиолетового излучения, фитопатогенов и насекомых [29, 30] растения выделяют на поверхности кутикулы воск, который влияет на уменьшение внеустьичного испарения и предотвращает попадание загрязнений на поверхность растения [31, 32]. Кутикулярные воски имеют и другие функции: влияют на морфологическое развитие и пигментацию листьев и плодов, уменьшают растрескивание плодов и т. д. [33, 34]. Некоторые гены, связанные с биосинтезом кутикулярного воска, были идентифицированы у многих крестоцветных культур, включая *Brassica oleracea* [35]. Однако молекулярный механизм регуляции биосинтеза и секреции кутикулярного воска у крестоцветных культур и *B. oleracea* остается малоизученным.

У глянцево-зеленых мутантов капусты были охарактеризованы многочисленные гены, связанные с биосинтезом воска. Глянцевый признак контролируется одним рецессивным геном *Cgl1*, расположенным на конце хромосомы C08 [36]. Разработано несколько новых маркеров, тесно связанных с целевым геном, в соответствии с эталонной последовательностью генома капусты. На основе вставки (2722 п. н.) разработан молекулярный маркер ISP1, который мог отличить глянцевый мутант 10Q-961 от других видов капусты [35]. Вероятно, ген *Bol018504* со вставкой в первом интроне (гомолог *Arabidopsis thaliana CER1* [35]) — это *Cgl1*. Соответственно, домен PLN02869, контролирующей активность декарбонилазы жирных альдегидов, отсутствовал в гене *Bol018504* глянцевого мутанта 10Q-961, что приводит к образованию мутанта глянцевого капусты. Это исследование может способствовать выведению новых сортов капусты, демонстрирующих фенотип блестящей зелени.

Большое количество генетических анализов показало, что большинство мутаций с дефицитом воска у капусты контролируется одним относительно консервативным рецессивным геном [35, 37, 38] у растений семейства крестоцветных. На хромосоме 5 был определен ген-кандидат *Bol026949*, контролирующей признак глянцевого зеленого цвета [28]. Он принадлежит к семейству доменных белков Agenet/Tudor, члены которого, как предполагается, участвуют в ремоделировании хроматина и транскрипции РНК. Анализ последовательности определил, что мутация однонуклеотидного полиморфизма (C → G) во втором экзоне *Bol026949* приводит к образованию стоп-кодона, что может привести к преждевременному прекращению трансляции его белка в 98–1030gl. *Bol026949* может участвовать в производстве кутикулярного воска, регулируя уровни транскриптов генов, участвующих в посттрансляционном клеточном процессе и передаче сигналов фитогормонов. Согласно предположению авторов, *Bol026949* может участвовать в производстве кутикулярного воска путем модуляции уровней транскриптов некоторых ключевых посттрансляционных регуляторов сигнального пути фитогормонов, а не путем прямого воздействия на экспрессию генов, участвующих в биосинтезе кутикулярного воска [28].

Лю и др. сообщили о доминантном наследовании геном *BoGL1*, контролирующим глянцево-зеленый признак у мутанта капусты с дефицитом воска [39]. Доминантная глянцевая мутация приводит к дефициту кутикулярного воска у мутанта капусты CGL-3 [40]. Идентификация генов-кандидатов для признака глянцевой зелени у модельных растений показала, что гены-кандидаты, ответственные за дефицит воска, представляют собой преимущественно некоторые критические гены, участвующие в биосинтезе, транспорте и регуляции воска [41].

Устойчивость к растрескиванию кочана (HSR) капусты является важным признаком, тесно связанным как с качеством, так и с общей урожайностью. Этот признак имеет сложные генетические механизмы, а его генетический контроль остается невыясненным. Была предпринята попытка анализа наследования и обнаружения локусов количественных признаков (QTL) для HSR с использованием смешанного анализа наследования основных генов и полигенов и картирования QTL, с маркерами простого повтора последовательности (SSR) и инсерции-делеции (InDel) [42]. Результаты картирования QTL и классического генетического анализа были согласованными. Идентифицированные девять QTL (*Chr.* C3, C4, C7 и C9) объяснили в совокупности от 39,4 до 59,1 % фенотипических вариаций. Три основных QTL (*Hsr* 3.2, 4.2, 9.2), демонстрировали относительно больший эффект, чем остальные [42]. Еще шесть локусов QTL на 2, 4, 6 хромосоме отвечают за устойчивость к растрескиванию кочана капусты. При этом маркеры BRPGM0676 и BRMS137 проявляли сильную связь с HSR капусты и отмечалась консервативность в области QTL SPL-2-1. Полученные QTL полезны для молекулярно-маркерной селекции устойчивых растений на стадии рассады [43]. Эта характеристика позволяет определить эффективность генотипов по скорости созревания и урожайности [44].

Маркеры биотического стресса

Различные патогены: фузариозное увядание, черная гниль, склеротиниозная стеблевая гниль, черная ножка, белая ржавчина, ложная мучнистая роса, белая пятнистость листьев, вирус мозаики репы и др. — могут заражать культуры *Brassica* [3, 45]. Создание сортов, устойчивых к основным бактериальным, грибковым и вирусным заболеваниям, а также вызываемым другими паразитами, рассматривается как наиболее жизнеспособный и экологически устойчивый подход к борьбе с болезнями [44]. Выявление и выращивание устойчивых к заболеваниям сортов может обеспечить очень эффективный и экологически безопасный способ борьбы с патогенами растений без необходимости химической обработки [46]. Наличие генов устойчивости у растений, в частности сортов *Brassica*, обеспечивает их защиту от патогенов [47, 48]. При этом важную роль для защиты капусты играют белки [49, 52, 53], кодируемые генами устойчивости, с нуклеотид-связывающим сайтом и обогащенные лейциновыми повторами [49–51]. Благодаря этому возможно разработать ДНК-маркер устойчивости к болезням [3, 54, 55]. На базе трех аллелей восприимчивости *B. oleracea* (*fosbo1–1*, 2, 3) разработаны наборы ДНК-маркеров [1, 56]. У *B. oleracea* обнаружен только

один главный локус CR (Rcr7) и около 50 QTL, связанных с заболеванием килы, вызываемой *Plasmodiophora brassicae* [54, 57] (Rcr7, включая двадцать три QTL, обнаруженных с использованием метода микрочипов однонуклеотидного полиморфизма (SNP) [58]. Ген устойчивости Rcr7 вероятно расположен на хромосоме 7 (LG 7) у двух сортов капусты Tekila и Kilaherb [57]. Наличие нескольких локусов CR у капусты указывает на то, что устойчивость к киле у *B. oleracea* контролируется полигенным образом, подтверждая сложную генетическую организацию признака, когда одного локуса недостаточно для этого [59]. Сравнение обнаруженных QTL пока невозможно из-за отсутствия общих молекулярных маркеров [54] и использования разных источников килы и возбудителя [60].

В одной из работ были выявлены несколько сортов, несущих устойчивость к двум недавно появившимся патотипам *P. brassicae*, F3–14 (3A) и F-359–13 [61]. Анализ ассоциаций с помощью QTL-маркеров SNP позволил выявить геномные области QTL, связанные с устойчивостью к *P. brassicae* [61]. QTL-маркеры, выявленные в данном исследовании, могут быть использованы в молекулярной селекции культур *Brassica* на устойчивость к данному патогену. В большинстве регионов QTL определено лишь ограниченное количество SNP-маркеров, для выявления дополнительных маркеров в этих геномных регионах еще потребуется тонкое картирование [61].

Из овощей *Brassica* выделили гены устойчивости к фузариозному увяданию (CFW), которые используются в программах маркерной селекции капусты [62]. Патогеном является *Fusarium oxysporum f. sp. Conglutinans*. Пу с соавторами [63] и Lv с соавторами [64, 65] разработали два маркера InDel для гена устойчивости к CFW [64]. Генотипы можно легко идентифицировать с помощью полиакриламидного гель-электрофореза [66]. Один доминирующий ген-кандидат R-ген *Bol037156* для *FOC1* в капусте обеспечивает устойчивость к грибковому патогену у *B. oleracea* с подобным сайтом связывания нуклеотида рецептора toll-интерлейкина-1 с богатым лейцином повтором (TIR-NBS-LRR) [65]. В противоположность, среди восприимчивых линий обнаружено два типа InDel (вставка 1 п.н. и делеция 10 п.н.), каждый из которых вызывал сдвиг рамки считывания и терминирующую мутацию в последовательностях кДНК. Для повышения сопротивляемости к CFW с помощью селекции с использованием маркеров (MAS) были успешно применены ДНК-маркеры, связанные с аллелем устойчивости к болезням, что способствовало выяснению молекулярных механизмов, регулирующих данный признак, и ускорили выведение новых сортов капусты, устойчивых к заболеванию [54]. Улучшения элитных линий достигли путем переноса CFW в растения. Такая процедура включает комбинированное использование культуры микроспор, полный анализ геномного фона и выбор маркера, специфичного для устойчивости к CFW [62]. Для устойчивости капусты к фузариозному увяданию разработан и успешно применен в селекции капусты ряд молекулярных маркеров, таких как SSR-маркер *Frg13* [62, 64], маркер *Rfo* *VnRFO* [67, 68]. Специфичный для CFW маркер *Frg13* может быть полезен для точной и быстрой идентификации этого признака в капустном материале и при разработке эффективного метода улучшения элитных линий капусты.

Селекционеры пытаются вывести линии, устойчивые одновременно к разным заболеваниям, с помощью ДНК-маркеров, что позволит преодолеть проблему одновременного заражения несколькими патогенами. Обнаружена ассоциация между аллелем устойчивости к фузариозному увяданию и клубневой гнили на основе ДНК-маркеров и выведены линии, устойчивые к обоим заболеваниям [1].

Ген устойчивости к фузариозному увяданию (*FocBr1*, Chr.A03) расположен в области CR-генов (*Cra/CRb*, *Rcr1*, *Crr3* и *CRk*) [54]. Рекомбинация двух генов [69] позволяет накапливать аллели, устойчивые к фузариозному увяданию и клубневой гнили. *FocBo1* *B. oleracea* (Chr. C06) расположен вблизи QTL клубневой гнили, но слабо сцеплен с ним [59, 63, 70, 71]. Сцепление между несхожими локусами устойчивости может позволить наследовать гены устойчивости как к фузариозному увяданию, так и клубеньковой гнили, что может привести к созданию устойчивых сортов к обоим заболеваниям [72].

Патоген *Xanthomonas campestris* pv. *Campestris* (Хсс) вызывает заболевание овощей *Brassica*, называемое черной гнилью [73, 74]. Хотя мало что известно о NBS-кодирующих R-генах у сортов капусты, ранее сообщалось о структуре экзонов и интронов и вариантах последовательности (SNPs и инделов) в этих NBS-кодирующих генах в устойчивых и восприимчивых к инфекции Хсс линиях капусты [75]. Были определены девять NBS-кодирующих R-генов, которые могут быть вовлечены в устойчивость капусты к заболеванию черной гнилью, основываясь на профилях экспрессии генов в устойчивых и восприимчивых линиях. Эти гены-кандидаты обеспечивают важный ресурс для функциональной характеристики и генетического улучшения устойчивости капусты к черной гнили [75]. Так был разработан молекулярный маркер InDel BR6-InDel для оценки связи между вариациями *Bol031422* и связанный с устойчивостью к расам Хсс 6 и 7. Ген-кандидат R *Bol031422* на хромосоме C08 состоял из одного экзона с инсерцией/делецией длиной 3 п.о. (InDels), полиморфизма длиной 292 п.н. (инсерция в экзоне устойчивой линии по отношению к восприимчивой линии) и нескольких однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). Этот разработанный маркер может быть востребован селекционерами для создания сортов капусты, устойчивых к расам черной гнили Хсс 6 и 7 [74].

Заключение

Основная цель селекции капусты — создание конкурентноспособных новых и улучшение уже существующих сортов с повышенной, стабильной продуктивностью, быстрым созреванием, однородностью и улучшенным потребительским качеством (вкуса, внешнего вида, адекватного размера, формы и плотности кочанов, высоким содержанием питательных веществ и определенным химическим составом, способностью к хранению). При этом качественные признаки имеют относительно высокое значение в селекции белокочанной капусты, которая также должна предусматривать разработку биотически и абиотически устойчивых сортов/гибридов в меняющихся климатических условиях.

Обзор опубликованной литературы по маркерам хозяйственно ценных признаков показал, что большая часть исследований посвящена изучению устойчивости к патогенам, морфологическим показателям и растрескиванию кочана. Следует особо выделить большую важность выведения новых линий и сортов, устойчивых одновременно к разным заболеваниям, что не только позволит преодолеть проблему множественного заражения, но и поможет снизить воздействие остатков пестицидов на продукты питания и окружающую среду. В литературе выявлено множество исследований генов, участвующих в холодовой адаптации капусты белокочанной, что связано с ее широким распространением в различных климатических зонах. Также выявлены ассоциации молекулярных маркеров с признаком времени перехода к цветению. В то же время, доля маркеров для генетической идентификации сортов капусты кочанной различных групп спелости оказалась очень незначительна, хотя селекция на наличие вариаций ранних, средних и поздних сортов капусты для максимального использования доступного вегетационного периода и посевных площадей очень востребована. Поэтому создание сортов, гибридов и линий, устойчивых к биотическим и абиотическим стрессам, богатых нутрацевтиками, с потенциальной возможностью получения однородного по зрелости и признакам стабильного урожая — приоритетная цель селекции капусты. При этом нужно учитывать, что получение капусты, обладающей одновременно повышенной урожайностью, питательной ценностью и улучшенным качеством с точки зрения потребительского спроса, представляет собой серьезную задачу для селекционеров.

Среди всего разнообразия выявленных в литературе маркеров, используемых в селекции капусты белокочанной, оказалось лишь относительно незначительное присутствие KASP маркеров, имеющих высокий потенциал и приобретающих в последнее время все большее значение в связи со своей экспрессностью и экономичностью. Поэтому крайне важно в полной мере использовать возможности современных биотехнологических методов для улучшения генетических признаков капусты белокочанной, среди которых использование молекулярных маркеров представляет собой полезный ресурс для повышения эффективности селекции. Это открывает возможности для ускорения селекционной практики за счет использования маркеров в фоновом отборе при селекции с их помощью. Такой подход будет способствовать созданию совершенно новых высокоурожайных сортов, отличающихся повышенной и комплексной устойчивостью к заболеваниям и неблагоприятным факторам возделывания, способных к вызреванию больших кочанов с отличным потребительским и технологическим качеством. Мы ожидаем, что в дальнейшем будут также предприняты усилия по выведению новых сортов капусты не только ради ее кулинарных свойств или лучшей приспособленностью к условиям выращивания и управления, но и с терапевтическими целями. Новые задачи селекции капусты будут побуждать интегрировать последние инновации в биологии и генетике для улучшения урожая.

Список литературы

1. Jo J, Kang MY, Kim KS, Youk HR, Shim E-J, Kim H, et al. Genome-wide analysis-based single nucleotide polymorphism marker sets to identify diverse genotypes in cabbage cultivars (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Sci Rep*. 2022;12(1):20030. doi: 10.1038/s41598-022-24477-y
2. Rokayya S, Li C-J, Zhao Y, Li Y, Sun C-H. Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) phytochemicals with antioxidant and anti-inflammatory potential. *Asian Pacific J Cancer Prev*. 2013;14(11):6657—6662. doi: 10.7314/apjcp.2013.14.11.6657
3. Lv H, Fang Z, Yang L, Zhang Y, Wang Y. An update on the arsenal: mining resistance genes for disease management of *Brassica* crops in the genomic era. *Hortic Res*. 2020;7(1):34. doi: 10.1038/s41438-020-0257-9
4. Raza A, Razzaq A, Mehmood SS, Hussain MA, Wei S, He H, Zaman QU, et al. Omics: The way forward to enhance abiotic stress tolerance in *Brassica napus* L. *GM Crops Food*. 2021;12(1):251—281. doi: 10.1080/21645698.2020.1859898
5. Liu S, Liu Y, Yang X, Tong C, Edwards D, Parkin IAP, et al. The *Brassica oleracea* genome reveals the asymmetrical evolution of polyploid genomes. *Nat Commun*. 2014;5(1):3930. doi: 10.1038/ncomms4930
6. Ishii T, Yonezawa K. Optimization of the marker based procedures for pyramiding genes from multiple donor lines: II. Strategies for selecting the objective homozygous plant. *Crop Sci*. 2007;47(5):1878—1886. doi: 10.2135/cropsci2006.11.0750
7. Litvinov DY, Chernook AG, Kroupin PY, Bazhenov MS, Karlov GI, Avdeev SM, et al. A Convenient Co-Dominant Marker for Height-Reducing *Ddw1* Allele Useful for Marker-Assisted Selection. *Agriculture*. 2020;10(4):110. doi: 10.3390/agriculture10040110
8. Bazhenov MS, Divashuk MG, Amagai Y, Watanabe N, Karlov GI. Isolation of the dwarfing *Rht-B1p* (*Rht17*) gene from wheat and the development of an allele-specific PCR marker. *Mol Breed*. 2015;35(11):213. doi: 10.1007/s11032-015-0407-1
9. Razumova OV, Bazhenov MS, Nikitina EA, Nazarova LA, Romanov D, Chernook AG, et al. Molecular analysis of gibberellin receptor gene *GID1* in *Dasyphyrum villosum* and development of DNA marker for its identification. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020;15(1):62—85. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-1-62-85
10. Parkash C, Kumar S, Thakur N, Singh S, Sharma BB. Cabbage: Breeding and Genomics. *Veg Sci*. 2023;50(Special):231—243. doi: 10.61180/vegsci.2023.v50.spl.09
11. Bazhenov MS, Bepalova LA, Kocheshkova AA, Chernook AG, Puzyrnaya OY, Agaeva EV, et al. The association of grain yield and agronomical traits with genes of plant height, photoperiod sensitivity and plastid glutamine synthetase in winter bread wheat (*Triticum aestivum* L.) collection. *Int J Mol Sci*. 2022;23(19):11402. doi: 10.3390/ijms231911402
12. Berensen FA, Antonova OY, Artemyeva AM. Molecular-genetic marking of *Brassica* L. species for resistance against various pathogens: achievements and prospects. *Vavilov J Genet Breed*. 2019;23(6):656—666. doi: 10.18699/VJ19.538
13. Collard BC, Mackill DJ. Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*. 2008;363(1491):557—572. doi: 10.1098/rstb.2007.2170
14. Карлов Г.И. Молекулярно-генетические и молекулярно-цитогенетические подходы для ускоренного создания селекционного материала растений с заданными свойствами. 2010. 322 p.
15. Karlov GI. *Molekulyarno-geneticheskie i molekulyarno-tsitogeneticheskie podkhody dlya uskorenogo sozdaniya selektsionnogo materiala rastenii s zadannymi svoistvami* [Molecular genetic and molecular cytogenetic approaches for accelerated creation of plant breeding material with specified properties]. 2010. (In Russ.).
16. Xiao Z, Kong C, Han F, Yang L, Zhuang M, Zhang Y, et al. Two user-friendly molecular markers developed for the identification of hybrid lethality genes in *Brassica oleracea*. *Agronomy*. 2021;11(5):982. doi: 10.3390/agronomy11050982
17. Lister DL, Jones H, Jones MK, O'Sullivan DM, Cockram J. Analysis of DNA polymorphism in ancient barley herbarium material: Validation of the KASP SNP genotyping platform. *Taxon*. 2013;62(4):779—789. doi: 10.12705/624.9
18. Cramer GR, Urano K, Delrot S, Pezzotti M, Shinozaki K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biol*. 2011;11(1):163. doi: 10.1186/1471-2229-11-163
19. Xin Z, Browse J. Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. *Plant Cell Environ*. 2000;23(9):893—902. doi: 10.1046/j.1365-3040.2000.00611.x
20. Maibam P, Nawkar GM, Park JH, Sahi VP, Lee SY, Kang CH. The influence of light quality, circadian rhythm, and photoperiod on the CBF-mediated freezing tolerance. *Int J Mol Sci*. 2013;14(6):11527—11543. doi: 10.3390/ijms140611527

20. Mickelbart MV, Hasegawa PM, Bailey-Serres J. Genetic mechanisms of abiotic stress tolerance that translate to crop yield stability. *Nat Rev Genet.* 2015;16(4):237–251. doi: 10.1038/nrg3901
21. Jha UC, Bohra A, Jha R. Breeding approaches and genomics technologies to increase crop yield under low-temperature stress. *Plant Cell Rep.* 2017;36(1):1–35. doi: 10.1007/s00299-016-2073-0
22. Thomashow MF. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 1999;50(1):571–599. doi: 10.1146/annurev.arplant.50.1.571
23. Kole C, Thormann CE, Karlsson BH, Palta JP, Gaffney P, Yandell B, et al. Comparative mapping of loci controlling winter survival and related traits in oilseed *Brassica rapa* and *B. napus*. *Mol Breed.* 2002;9:201–210. doi: 10.1023/A:1019759512347
24. Song H, Kim HR, Hwang B-H, Yi H, Hur Y. Natural variation in glycine-rich region of *Brassica oleracea* cold shock domain protein 5 (BoCSDP5) is associated with low temperature tolerance. *Genes Genomics.* 2020;42(12):1407–1417. doi: 10.1007/s13258-020-01010-x
25. Karlson D, Imai R. Conservation of the cold shock domain protein family in plants. *Plant Physiol.* 2003;131(1):12–15. doi: 10.1104/pp.014472
26. Li Q, Peng A, Yang J, Zheng S, Li Z, Mu Y, et al. A 215-bp indel at intron I of *BoFLC2* affects flowering time in *Brassica oleracea* var. *capitata* during vernalization. *Theor Appl Genet.* 2022;135(8):2785–2797. doi: 10.1007/s00122-022-04149-1
27. Abuyusuf Md, Nath UK, Kim H-T, Islam Md.R, Park J-I, Nou III-S. Molecular markers based on sequence variation in *BoFLC1.C9* for characterizing early- and late-flowering cabbage genotypes. *BMC Genet.* 2019;20(1):42. doi: 10.1186/s12863-019-0740-1
28. Wang P, Li Z, Zhu L, Cheng M, Chen X, Wang A, et al. Fine mapping and identification of a candidate gene for the glossy green trait in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Plants.* 2023;12(18):3340. doi: 10.3390/plants12183340
29. Mariani M, Wolters-Arts M. Complex Waxes. *Plant Cell.* 2000;12(10):1795–1798. doi: 10.1105/tpc.12.10.1795
30. Kunst L, Samuels AL. Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Prog Lipid Res.* 2003;42(1):51–80. doi: 10.1016/S0163-7827(02)00045-0
31. Kerstiens G. Cuticular water permeability and its physiological significance. *J Exp Bot.* 1996;47(12):1813–1832. doi: 10.1093/jxb/47.12.1813
32. Barthlott W, Neinhuis C, Cutler D, Ditsch F, Meusel I, Theisen I, et al. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. *Bot J Linn Soc.* 1998;126(3):237–260. doi: 10.1006/bojl.1997.0137
33. Koch K, Ensikat H-J. The hydrophobic coatings of plant surfaces: Epicuticular wax crystals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly. *Micron.* 2008;39(7):759–772. doi: 10.1016/j.micron.2007.11.010
34. Koch K, Bhushan B, Barthlott W. Multifunctional surface structures of plants: An inspiration for biomimetics. *Prog Mater Sci.* 2009;54(2):137–178. doi: 10.1016/j.pmatsci.2008.07.003
35. Liu Z, Fang Z, Zhuang M, Zhang Y, Lv H, Liu Y, et al. Fine-mapping and analysis of *Cgl1*, a gene conferring glossy trait in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Front Plant Sci.* 2017;8:239. doi: 10.3389/fpls.2017.00239
36. Li JT, Yang LM, Fang ZY, Liu YM, Zhuang M, Zhang YY, et al. First exploration on genetic law of glossy wax-less characteristics on cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.) material 10Q-961. *China Veg.* 2012;(12):37–41.
37. Ji J, Cao W, Tong L, Fang Z, Zhang Y, Zhuang M, et al. Identification and validation of an ECERIFERUM2-LIKE gene controlling cuticular wax biosynthesis in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.). *Theor Appl Genet.* 2021;134:4055–4066. doi: 10.1007/s00122-021-03947-3
38. Liu D, Dong X, Liu Z, Tang J, Zhuang M, Zhang Y, et al. Fine mapping and candidate gene identification for wax biosynthesis locus, *BoWax1* in *Brassica oleracea* L. var. *capitata*. *Front Plant Sci.* 2018;9:309. doi: 10.3389/fpls.2018.00309
39. Liu D, Tang J, Liu Z, Dong X, Zhuang M, Zhang Y, et al. Fine mapping of *BoGL1*, a gene controlling the glossy green trait in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Mol Breed.* 2017;37:69. doi: 10.1007/s11032-017-0674-0
40. Dong X, Ji J, Yang L, Fang Z, Zhuang M, Zhang Y, et al. Fine-mapping and transcriptome analysis of *BoGL-3*, a wax-less gene in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Mol Genet Genomics.* 2019;294:1231–1239. doi: 10.1007/s00438-019-01577-5
41. Lee SB, Suh MC. Advances in the understanding of cuticular waxes in *Arabidopsis thaliana* and crop species. *Plant Cell Rep.* 2015;34:557–572. doi: 10.1007/s00299-015-1772-2

42. Su Y, Liu Y, Li Z, Fang Z, Yang L, Zhuang M, et al. QTL Analysis of head splitting resistance in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) using SSR and InDel makers based on whole-genome re-sequencing. *PLoS One*. 2015;10(9): e0138073. doi: 10.1371/journal.pone.0138073
43. Pang W, Li X, Choi SR, Nguyen VD, Dhandapani V, Kim YY, et al. Mapping QTLs of resistance to head splitting in cabbage (*Brassica oleracea* L.var. *capitata* L.). *Mol Breed*. 2015;35:126. doi: 10.1007/s11032-015-0318-1
44. Parmar SS, Ravindra IH, Kumar R. Accelerated approaches for cabbage improvement. In: El-Esawi MA. (ed.) *Recent trends in plant breeding and genetic improvement*. 2023. doi: 10.5772/intechopen.1002526
45. Neik TX, Barbetti MJ, Batley J. Current status and challenges in identifying disease resistance genes in *Brassica napus*. *Front Plant Sci*. 2017;8:1788. doi: 10.3389/fpls.2017.01788
46. Yerasu SR, Murugan L, Halder J, Prasanna HC, Singh A, Singh B. Screening tomato genotypes for resistance to early blight and American serpentine leafminer. *Hortic Environ Biotechnol*. 2019;60:427–433. doi: 10.1007/s13580-019-00130-y
47. Vicente JG, Holub EB. *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (cause of black rot of crucifers) in the genomic era is still a worldwide threat to brassica crops. *Mol Plant Pathol*. 2013;14(1):2–18. doi: 10.1111/j.1364-3703.2012.00833.x
48. Fargier E, Manceau C. Pathogenicity assays restrict the species *Xanthomonas campestris* into three pathovars and reveal nine races within *X. campestris* pv. *campestris*. *Plant Pathol*. 2007;56(5):805–818. doi: 10.1111/j.1365-3059.2007.01648.x
49. Dangl JL, Jones JD. Plant pathogens and integrated defence responses to infection. *Nature*. 2001;411:826–833. doi: 10.1038/35081161
50. Dubos C, Kelemen Z, Sebastian A, Bülow L, Huep G, Xu W, et al. Integrating bioinformatic resources to predict transcription factors interacting with *cis*-sequences conserved in co-regulated genes. *BMC Genomics*. 2014;15(1):317. doi: 10.1186/1471-2164-15-317
51. Van Der Biezen EA, Jones JDG. Plant disease-resistance proteins and the gene-for-gene concept. *Trends Biochem Sci*. 1998;23(12):454–456. doi: 10.1016/s0968-0004 (98) 01311-5
52. Bent AF, Mackey D. Elicitors, effectors, and R genes: the new paradigm and a lifetime supply of questions. *Annu Rev Phytopathol*. 2007;45:399–436. doi: 10.1146/annurev.phyto.45.062806.094427
53. Wan H, Yuan W, Bo K, Shen J, Pang X, Chen J. Genome-wide analysis of NBS-encoding disease resistance genes in *Cucumis sativus* and phylogenetic study of NBS-encoding genes in Cucurbitaceae crops. *BMC Genomics*. 2013;14:109. doi: 10.1186/1471-2164-14-109
54. Mehraj H, Akter A, Miyaji N, Miyazaki J, Shea DJ, Fujimoto R, et al. Genetics of Clubroot and Fusarium Wilt Disease Resistance in Brassica Vegetables: The application of marker assisted breeding for disease resistance. *Plants*. 2020;9(6):726. doi: 10.3390/plants9060726
55. Hirani AH, Gao F, Liu J, Fu G, Wu C, Yuan Y, et al. Transferring clubroot resistance from Chinese cabbage (*Brassica rapa*) to canola (*B. napus*). *Can J Plant Pathol*. 2016;38(1):82–90. doi: 10.1080/07060661.2016.1141799
56. Sato M, Shimizu M, Shea DJ, Hoque M, Kawanabe T, Miyaji N, et al. Allele specific DNA marker for fusarium resistance gene *FocBo1* in *Brassica oleracea*. *Breed Sci*. 2019;69(2):308–315. doi: 10.1270/jsbbs.18156
57. Dakouri A, Zhang X, Peng G, Falk KC, Gossen BD, Strelkov SE, et al. Analysis of genome-wide variants through bulked segregant RNA sequencing reveals a major gene for resistance to *Plasmodiophora brassicae* in *Brassica oleracea*. *Sci Rep*. 2018;8:17657. doi: 10.1038/s41598-018-36187-5
58. Peng L, Zhou L, Li Q, Wei D, Ren X, Song H, et al. Identification of quantitative trait loci for clubroot resistance in *Brassica oleracea* with the use of Brassica SNP microarray. *Front Plant Sci*. 2018;9:822. doi: 10.3389/fpls.2018.00822
59. Tomita H, Shimizu M, Asad-ud Doullah M, Fujimoto R, Okazaki K. Accumulation of quantitative trait loci conferring broad-spectrum clubroot resistance in *Brassica oleracea*. *Mol Breed*. 2013;32:889–900. doi: 10.1007/s11032-013-9918-9
60. Nagaoka T, Doullah MAU, Matsumoto S, Kawasaki S, Ishikawa T, Hori H, et al. Identification of QTLs that control clubroot resistance in *Brassica oleracea* and comparative analysis of clubroot resistance genes between *B. rapa* and *B. oleracea*. *Theor Appl Genet*. 2010;120:1335–1346. doi: 10.1007/s00122-010-1259-z
61. Farid M, Yang RC, Kebede B, Rahman H. Evaluation of *Brassica oleracea* accessions for resistance to *Plasmodiophora brassicae* and identification of genomic regions associated with resistance. *Genome*. 2020;63(2):91–101. doi: 10.1139/gen-2019-0098
62. Liu X, Han F, Kong C, Fang Z, Yang L, Zhang Y, et al. Rapid introgression of the fusarium wilt resistance gene into an elite cabbage line through the combined application of a microspore culture, genome background

analysis, and disease resistance-specific marker assisted foreground selection. *Front Plant Sci.* 2017;8:354. doi: 10.3389/fpls.2017.00354

63. Pu ZJ, Shimizu M, Zhang YJ, Nagaoka T, Hayashi T, Hory H, et al. Genetic mapping of a fusarium wilt resistance gene in *Brassica oleracea*. *Mol Breed.* 2012;30(2):809–818. doi: 10.1007/s11032-011-9665-8

64. Lv HH, Yang LM, Kang JG, Wang QB, Wang XW, Fang ZY, et al. Development of InDel markers linked to Fusarium wilt resistance in cabbage. *Mol Breed.* 2013;32(4):961–967. doi: 10.1007/s11032-013-9925-x

65. Lv H, Fang Z, Yang L, Zhang Y, Wang Q, Liu Y, et al. Mapping and analysis of a novel candidate Fusarium wilt resistance gene *FOC1* in *Brassica oleracea*. *BMC Genomics.* 2014;15:1094. doi: 10.1186/1471-2164-15-1094

66. Lv HH, Wang QB, Yang LM, Fang ZY, Liu YM, Zhuang M, et al. Breeding of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) with fusarium wilt resistance based on microspore culture and marker-assisted selection. *Euphytica.* 2014;200:465–473. doi: 10.1007/s10681-014-1197-y

67. Yu HL, Fang ZY, Liu YM, Yang LM, Zhuang M, Lv HH, et al. Development of a novel allele-specific *Rfo* marker and creation of Ogura CMS fertility-restored interspecific hybrids in *Brassica oleracea*. *Theor Appl Genet.* 2016;129:1625–1637. doi: 10.1007/s00122-016-2728-9

68. Yu HL, Li ZY, Yang LM, Liu YM, Zhuang M, Zhang LG, et al. Morphological and molecular characterization of the second backcross progenies of Ogu-CMS Chinese kale and rapeseed. *Euphytica.* 2017;213:55. doi: 10.1007/s10681-017-1842-3

69. Kawamura K, Kawanabe T, Shimizu M, Okazaki K, Kaji M, Dennis ES, et al. Genetic characterization of inbred lines of Chinese cabbage by DNA markers; towards the application of DNA markers to breeding of F1 hybrid cultivars. *Data Br.* 2016;6:229–237. doi: 10.1016/j.dib.2015.11.058

70. Shimizu M, Pu ZJ, Kawanabe T, Kitashiba H, Matsumoto S, Ebe Y, et al. Map-based cloning of a candidate gene conferring Fusarium yellows resistance in *Brassica oleracea*. *Theor Appl Genet.* 2015;128:119–130. doi: 10.1007/s00122-014-2416-6

71. Kawamura K, Shimizu M, Kawanabe T, Pu Z, Kodama T, Kaji M, et al. Assessment of DNA markers for seed contamination testing and selection of disease resistance in cabbage. *Euphytica.* 2017;213:28. doi: 10.1007/s10681-016-1821-0

72. Akter MA, Mehraj H, Itabashi T, Shindo T, Osaka M, Akter A, et al. Breeding for disease resistance in Brassica vegetables using DNA marker selection. In: *Brassica Breeding and Biotechnology*. IntechOpen; 2021. p.127–142. doi: 10.5772/intechopen.96263

73. Williams PH. Black rot: a continuing threat to world crucifers. *Plant Dis.* 1981;64(8):736–742. doi: 10.1094/PD-64-736

74. Hong JE, Afrin KS, Rahim MA, Jung HJ, Nou IS. Inheritance of black rot resistance and development of molecular marker linked to *Xcc* races 6 and 7 resistance in cabbage. *Plants.* 2021;10(9):1940. doi: 10.3390/plants10091940

75. Afrin KS, Rahim MA, Park JI, Natarajan S, Kim HT, Nou IS. Identification of NBS-encoding genes linked to black rot resistance in cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*). *Mol Biol Rep.* 2018;45:773–785. doi: 10.1007/s11033-018-4217-5

Об авторах:

Бурсаков Сергей Алексеевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генетических технологий и молекулярного сопровождения селекции зерновых и зернобобовых культур, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ВНИИСБ), Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: sergey@moscu@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5647-9901 SPIN-код: 9864-0118

Карлов Геннадий Ильич — доктор биологических наук, профессор, Академик РАН, директор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ВНИИСБ), Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: karlov@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9016-103X SPIN-код: 7043-2727

Харченко Петр Николаевич — доктор биологических наук, профессор, академик РАН, научный руководитель, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ВНИИСБ), председатель комиссии ФГБНУ ВНИИСБ, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: iab@iab.ac.ru

ORCID: 0000-0002-6036-5875 SPIN-код: 8509-0240



Plant protection Защита растений

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-592-601

UDC 632.934.1

EDN AUQGZG

Research article / Научная статья

The biological effectiveness of crude propolis extract in inhibiting the growth of phytopathogens

Mohammed H. Al-Mamoori, Shimendi G. Okbagabir ,Elena N. Pakina , Meisam Zargar  

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 zargar-m@rudn.ru

Abstract. Propolis is produced by honeybees (*Apis*) from a series of non-toxic, mucilage-based resinous and balsamic substances collected from the leaf buds of various tree species and mixed by the bees with their saliva secretions. It is used as an insulating, sealant, and disinfectant in the cell. Because of its antimicrobial properties, propolis has become a popular alternative biocide or food additive for health protection and disease prevention. It has been shown that the abundance of a huge number of flavonoids, essential oils, phenolic compounds, and antioxidants is responsible for most of the biological and pharmacological activities of propolis. This study aims to provide a critical analysis of various studies evaluating the activity of propolis against fungi and to identify the chemical components responsible for this activity. Discussion of the methodological approaches used, and results released is a key point of this review to highlight knowledge gaps. In this review, we will first learn about the chemical composition of propolis, and the contrast agents used in their ability to inhibit pathogenic fungi. The study showed that increasing the concentration 12.5, 25, 50, 100% of propolis extract led to an increase in the rate of fungal growth inhibition *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, *Rhizoctonia solani*, we find that the concentration of 100 ml/L was superior, which achieved the highest percentage of inhibition of the growth of the three fungi, *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, and *Rhizoctonia solani*. The average percentage of inhibition was 85.36, 85.77, and 83.14 respectively.

© Al-Mamoori M.H., Okbagabir S.G., Pakina E.N., Zargar M., 2024

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

Keywords: GC-MS Analysis, Chemical compounds, *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, *Rhizoctonia solani* sp.

Author Contributions: Al-Mamoori M.H. — conducting research; Okbagabir S.G. — literature review; Pakina E.N. — processing of research results; Zargar M. — statistical analysis of the obtained data and attracting funding.

Funding. The research was supported by Russian Science Foundation (RSF) (project No. 24-26-00113).

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

Article history: received 23 October 2024; accepted 18 November 2024.

For citation: Al-Mamoori MH, Okbagabir SG, Pakina EN, Zargar M. The biological effectiveness of crude propolis extract in inhibiting the growth of phytopathogens. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):592—601. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-592-601

Introduction

Propolis is a natural brownish resinous substance collected by honeybees (*Apis mellifera*), with a documented bioactivity against many microorganisms. Propolis is another important bee product, such as honey, royal jelly, and bee venom. Propolis is also an important source of natural chemical compounds [1]. Propolis has been used as a medicinal product since ancient times by the Greeks, Romans, and Egyptians, and it is still used present time [2]. Honeybees collect resinous substance from the buds and leaves of different types of plants, such as poplar, pine, pineapple, willow, and palm trees [3]. It is a solid substance when cold, soft, and sticky when hot, and has a distinctive smell, and its color varies from yellowish green to dark brown [4]. Propolis is of different types, as mentioned [5], including the green type and the red type. [6] has shown that the green type is more effective from a medical standpoint, and honeybees use propolis to fill the hexagonal gaps in the hive and to glue its parts together. They also use it to mummify dead bees inside the hive and some organisms that enter their hives and which they kill. Bees cannot carry it outside the hive to avoid its rotting, such as cockroaches, butterflies, and mice, so it remains inside the hive without decomposing [7]. Because of its distinctive properties, chemical composition, and biological effectiveness against many microorganisms, it is now used as a natural treatment in several countries of the world [8]. Propolis contains more than 300 different components, such as polyphenols (flavonoids, phenolic acids, and esters), phenolic aldehydes and ketones. The percentage of these materials is as follows: plant resins and balsams 50%, beeswax 30%, pollen grains 5%, essential and fragrant oils 10%, and some other materials that also include organic compounds [9]. The composition is affected by extraction methods; It is generally produced through ethanol extraction, although some steps (such as maceration) are variable [10]. Propolis plays a crucial role in immune defense, largely due to its antioxidant properties, which stem from its diverse bioactive phytochemical constituents. These compounds include phenolic acids, flavonoids, esters, diterpenes, sesquiterpenes, lignans, aromatic aldehydes, alcohols, amino acids, fatty acids, vitamins, and minerals [11]. The wide array of observed biological activities can be attributed to the chemical diversity of these phytonutrients [12, 13]. The composition of

propolis varies based on the local vegetation and the period of collection [14]. Despite these differences, all propolis types exhibit antimicrobial activity, suggesting that this function is influenced by overall composition rather than specific compounds [15]. Worldwide, propolis is used in supplements and as a food or beverage additive [16], although its approval as a drug or dietary supplement depends on thorough chemical, technological, and toxicological evaluation. To diminish the environmental impact of currently available fungicides, many researchers have been searching for naturally occurring bioactive compounds that act differently from commonly known antifungals. Propolis is a resinous product consisting of compounds that bees collect from the vegetation, e.g., phenolic acids, terpenoids, caffeic acids, and flavonoids [17]. **The aim of the study** was to determine the effective chemical compounds of propolis extract and the role of the aqueous extract of propolis seeds in inhibiting the growth of some fungi that are phytopathogenic, to find alternative biological methods that help farmers dispense with chemical pesticides that are harmful to the environment, and to reduce the accumulation of chemical substances in breeding, agricultural crops, and the production of pesticides, as propolis is environmentally friendly, harmless, low cost and easy to apply.

Materials and Methods

The method of Harbon (1984) was followed in preparing aqueous extracts of propolis. 50 grams of the dry weight of the natural propolis were sterilized with a 1% sodium hypochlorite solution, dried using filter paper, then dried by placing them in an electric oven at a temperature of 50 degrees Celsius and ground with an electric grinder. The resulting powder was kept in sterile glass jars until used in preparing the water extract, and placed in a 500-ml glass beaker containing 200 ml of distilled water. Then the plant material was mixed with an electric mixer on a hotplate for 30 minutes via 48 hours, and the solution was left for 30 minutes. After that, it was filtered using filter paper to separate large plankton, and the filtrate was transferred to the centrifuge. The extract was centrifuged at 3000 rpm for 10 min to sediment the smallest phytoplankton and obtain a fine plant extract [18].

The fungi used in the experiment. *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, and *Rhizoctonia solani* sp. fungi were obtained from the Phytopathology Laboratory, Agrobiotechnology Department, RUDN University, grown on the nutrient medium Potato Dextrose Agar (PDA), and incubated at a temperature of 25 °C. This isolate is characterized by the growth of white mycelium with branched edges on the upper surface of the dish and light cream on the lower surface [19]. In the experiment, 5 mm-diameter discs were excised from 5-day-old colonies of pathogenic fungi. A single disc of each fungal species was placed at the center of Petri dishes containing potato dextrose agar (PDA) medium, supplemented with varying concentrations of the propolis extracts under investigation. The plates were incubated at 25 °C for one week, after which colony growth was measured. The fungi used in the experiment were classified according to established diagnostic categories [20, 21]. This setup enabled the assessment of the antifungal activity of the different propolis extracts.

Testing the inhibitory capacity of plant extract. To detect the inhibitory ability against pathogenic fungi, four concentrations 12.5, 25, 50, 100% of the plant extract were added to the culture medium in addition to the control concentration, and discs with a diameter of 5 mm were taken from the pathogenic fungal isolates to a Petri dish with a diameter of 90 mm containing 20 ml of the culture medium for each of the pathogenic fungi used. In the experiment, there were three replicates for each of them and the same number of Petri dishes, and the dishes were incubated at a temperature of 25 °C. After a week, the growth rates of the fungi were estimated after completion of growth of the control fungus for each of the pathogenic fungi, and then the percentage of the extract's efficiency in inhibiting the growth of the fungi was calculated using Abbott equation (1925) [22, 23].

Percentage of inhibition = Fungal growth rate in comparison_ Fungal growth rate by treatment/ Fungal growth rate in comparison*100

Statistical Analysis. The experiment was carried out according to a completely randomized design in four replicates based on the **CRD** factor to compare different fungi and four concentrations of aqueous extract of sumac. The recorded data to examine the antifungal extract were analyzed into percentages using a program (**Gene-STAT version 21**) [24].

Results and discussion

The current results are showed in Figure 1; the biologically active compounds present in natural propolis extract were studied using gas chromatography and mass spectrometry. They are expressed in terms of retention time (RT) and concentration (peak area%) and given in Table 1 and Figure 1, which show the presence of 8 bioactive phytochemical compounds in propolis extract belonging to specific groups of compounds. Among the plant compounds that were identified were a saturated **Pentadecane, Diethyl Phthalate, Docosane, Rosifoliol, Tricosane, Ethanone-1,2-diphenyl-2-[(trimethylsilyl)oxy], 3-Methylheneicosane, Alkanox 240**. The analysis results were similar to the results of 8 chemical compounds, which showed the presence of many chemical compounds revealed by GC-MS analysis [25].

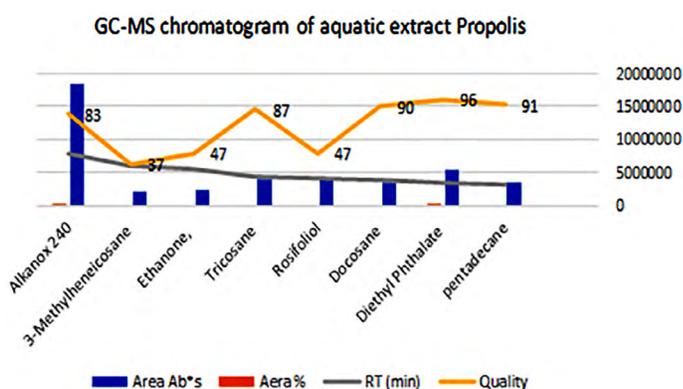


Figure 1. GC-MS analysis of aquatic extract of propolis

Source: compiled by M.H. Al-Mamoori, S.G. Okbagabir, E.N. Pakina, M. Zargar.

Figure 1 shows the spectroscopic GC-MS analysis of the chemical compounds of propolis extract. The diagram also shows the amount and peak area and quality of each chemical compound for extract of propolis, as detailed in Table 1.

Table 1 presents the results of the spectroscopic analysis (GC-MS) of the aquatic propolis extract which showed the following chemical compounds. At minute 18.719 at area 3391986, the compound pentadecane appeared with a quality of 91 and the peak area was 7.85; at minute 19.694, at area 5400969, the compound Diethyl Phthalate appeared with a quality of 96, and the peak area was 12.49; at minute 22.813, at area 3579221, the compound Docosane appeared with a quality of 90, the peak area was 8.28; at minute 23.944, at area 4134337, the compound Rosifoliol appeared with a quality of 47, and the peak area was 9.56; at minute 26.471, at area 3857546, the Tricosane appeared with a quality of 87, the peak area was 8.92; at minute 32.417, at area 2248944, the compound Ethanone appeared with a quality of 47, the peak area was 5.20; at minute 35.452, at area 2113794, the compound 3-Methylheneicosane appeared with quality of 37, the peak area was 4.89; at minute 46.27, at the area 18504977, the compound Alkanox 240 was common in terms of peak area with a quality of 83, the peak area was 42.80. The mass spectrum was used to identify the name, molecular weight, and form of the components of crude propolis samples [26].

Table 1

**Chemical compounds by Spectral analysis results by GC–MS chromatogram
of seeds aqueous extract of propolis**

No	RT, min	Area (Ab*s)	Peak Area%	Name	Quality	CAS Number
1	18.719	3391986	7.85	Pentadecane	91	000629-62-9
2	19.694	5400969	12.49	Diethyl Phthalate	96	000084-66-2
3	22.813	3579221	8.28	Docosane	90	000629-97-0
4	23.944	4134337	9.56	Rosifoliol	47	000000-00-0
5	26.471	3857546	8.92	Tricosane	87	000638-67-5
6	32.417	2248944	5.20	Ethanone, 1,2-diphenyl-2- [(trimethylsilyl)oxy]	47	026205-39-0
7	35.452	2113794	4.89	3-Methylheneicosane	37	006418-47-9
8	46.27	18504977	42.80	Alkanox 240	83	085454-97-3

Source: compiled by M.H. Al-Mamoori, S.G. Okbagabir, E.N. Pakina, M. Zargar.

The results in Table 2, Figure 2 indicate that all concentrations of the propolis aqueous extract were superior to the control in inhibiting the growth of the fungus, as the average colony diameter was estimated at, respectively, 35.73, 27.14, 20.75, and 12.55 mm using the aquatic extract of crude propolis at concentrations of 12.5, 25, 50, and 100 ml/L compared to the control, which gave the highest value for the average diameter of the fungal colony. Comparing the different concentrations, we found that the concentration exceeded 100 ml/L, as it achieved the highest rate of inhibition of

the growth of the three fungi (*Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, and *Rhizoctonia solani*). The average diameter of the fungal colonies was 8.67, 13.82, and 15.18 mm, respectively. This is due to the role of the active compounds, and the volatile oil present in the extract contains compounds that are effective in the growth of fungi. This is consistent with Auriane Dudoit, et al. [27].

Table 2

Effect of propolis aquatic extract on the medium diameter of plant pathogenic fungi colonies growth rate, compared with the control, mm

Fungus	Cont	12.5%	25%	50%	100
<i>Fusarium oxysporum</i>	90.00	27.87	23.75	20.31	8.67
<i>Pythium aphanidermatum</i>	90.00	44.13	34.59	24.50	13.82
<i>Rhizoctonia solani</i>	90.00	35.18	23.09	17.43	15.18
Means	90.00	35.73	27.14	20.75	12.55
L.S. D	A = Extract 2.960		B = Fungi 2.564		A + B = 5.127

Source: compiled by M.H. Al-Mamoori, S.G. Okbagabir, E.N. Pakina, M. Zargar.

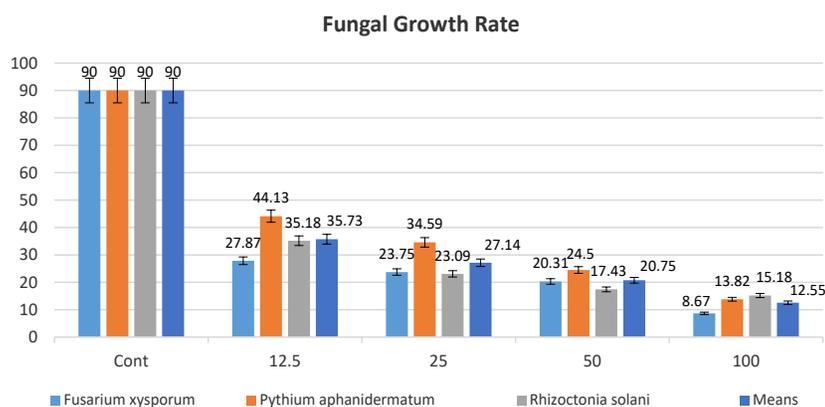


Figure 2. Effect of propolis aqueous extract on the medium diameter of plant pathogenic fungi colonies growth rate, mm

Source: compiled by M.H. Al-Mamoori, S.G. Okbagabir, E.N. Pakina, M. Zargar.

The aquatic extract for crude propolis achieved a significant effect in inhibiting the growth of the fungus (35.73, 27.14, 20.75, and 12.55), as the averages (Table 3, Figure 3) were estimated, respectively, for the concentrations of the water extract **ml/L** compared to the control. Comparing the concentrations, we found that the concentration of 100 **ml/L** was superior, which achieved the highest percentage of inhibition of the growth of the three fungi, *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, and *Rhizoctonia solani*. The average percentage of inhibition was (85.36, 85.77, and 83.14%), respectively. By comparing the average percentage of inhibition of the fungus, we found a difference

in sensitivity of the pathogenic fungi to the aqueous plant extract, as the extract achieved the highest percentage of inhibition of *Rhizoctonia solani*, followed by *Rhizoctonia solani*, then *Pythium aphanidermatum*; this is due to the role of the active compounds present in the extract and a small percentage of the essential oil, which contains active compounds soluble in water. A small amount of essential oil contains active compounds that affect the growth of fungi. This has been confirmed by previous studies. And this is consistent with Dudoit A. et al [27].

Table 3

Effect of Rush coriaria L. on inhibition growth fungi, percentage of inhibition rate (100%)

Fungus	Cont	12.5%	25%	50%	100%
<i>Fusarium oxysporum</i>	0.00	69.03	73.61	77.55	85.36
<i>Pythium aphanidermatum</i>	0.00	50.97	61.59	74.07	85.77
<i>Rhizoctonia solani</i>	0.00	60.91	74.35	80.68	83.14
Means	0.00	60.30	69.85	77.43	84.76
LSD	A= Extract 3.828		B= Fungi 3.315		A+B 6.630

Source: compiled by M.H. Al-Mamoori, S.G. Okbagabir, E.N. Pakina, M. Zargar.

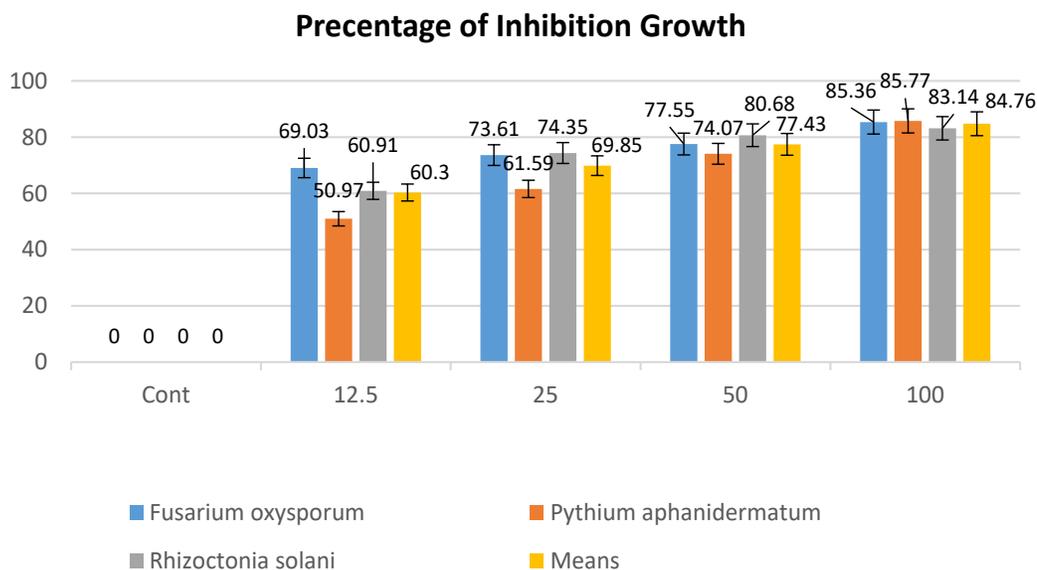


Figure 3. The inhibition ratio of *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, and *Rhizoctonia solani*. at various concentrations of propolis aqueous extract

Source: compiled by M.H. Al-Mamoori, S.G. Okbagabir, E.N. Pakina, M. Zargar.

Conclusion

This study investigates that the aqueous extract of propolis at four concentrations (12.5, 25, 50, and 100%) effectively inhibits the growth of pathogenic fungi *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, and *Rhizoctonia solani*. The highest inhibition rate was observed at the highest concentration (100%), where *Rhizoctonia solani* exhibited the lowest growth rate (83.14%) and the highest inhibition rate (85.77%) for *Pythium aphanidermatum*. The presence of bioactive compounds such as Diethyl Phthalate, docosane, Alkanox 240, and Tricosane identified through GC-MS analysis underpins the antifungal properties of the extract. These compounds contribute to the antifungal activity, suggesting that propolis extract could be a viable bio-fungicide. Given its efficacy, low cost, and environmental friendliness, propolis extract presents a promising alternative to commercial chemical fungicides. Its application could reduce chemical fungicides' environmental and health impacts, supporting sustainable agricultural practices and enhancing crop protection naturally.

References

1. Ratajczak M, Kaminska D, Matuszewska E, Hołderna-Kedzia E, Rogacki J, Matysiak J. Promising antimicrobial properties of bioactive compounds from different honeybee products. *Molecules*. 2021;26(13):4007. doi: 10.3390/molecules26134007
2. Kuropatnicki AK, Szliszka E, Krol W. Historical aspects of propolis research in modern times. *Evid Based Complementary Alternat Med*. 2013;(1):964149. doi: 10.1155/2013/964149
3. Dezmirean DS, Pașca C, Moise AR, Bobiș O. Plant sources responsible for the chemical composition and main bioactive properties of poplar-type propolis. *Plants*. 2020;10(1):22. doi: 10.3390/plants10010022
4. Kosalec I, Bakmaz M, Pepeljnjak S, Vladimir-Knezevic S. Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta Pharmaceutica*. 2004;54(1):65–72.
5. Marquiáfavel FS, Nascimento AP, Barud HdS, Marquele-Oliveira F, de Freitas LAP, Bastos JK, et al. Development and characterization of a novel standardized propolis dry extract obtained by factorial design with high artemisinin C content. *Journal of Pharmaceutical Technology and Drug Research*. 2015;4(1):1. doi: 10.7243/2050-120X-4-1
6. Yang Z, Zhang J, Kintner-Meyer MC, Lu X, Choi D, Lemmon JP, et al. Electrochemical energy storage for green grid. *Chemical reviews*. 2011;111(5):3577–3613. doi: 10.1021/cr100290v
7. Harvey A. Strategies for discovering drugs from previously unexplored natural products. *Drug discovery today*. 2000;5(7):294–300. doi: 10.1016/S1359-6446(00)01511-7
8. Hegazi AG, Abd El Hady FK, Abd Allah FAM. Chemical composition and antimicrobial activity of European propolis. *Zeitschrift für Naturforschung C*. 2000;55(1–2):70–75. doi: 10.1515/znc-2000-1-214
9. Anjum SI, Ullah A, Kan KA, Attaullah M, Khan H, Ali H, et al. Composition and functional properties of propolis (bee glue): A review. *Saudi J Biol Sci*. 2019;26(7):1695–1703. doi: 10.1016/j.sjbs.2018.08.013
10. Kubilene L, Laugaliene V, Pavilonis A, Maruska A, Majiene D, Barcauskaite K, et al. Alternative preparation of propolis extracts: Comparison of their composition and biological activities. *BMC Compl Alt Med*. 2015;15:156. doi: 10.1186/s12906-015-0677-5
11. Batista LLV, Campesatto EA, Assis MLB, Barbosa APF, Grillo LAM, Dornelas CB. Comparative study of topical green and red propolis in the repair of wounds induced in rats. *Rev Col Bras Cir*. 2012;39(6):515–520. doi.org/10.1590/S0100-69912012000600012
12. Farooqui T, Farooqui AA. Beneficial effects of propolis on human health and neurological diseases. *Front Biosci*. 2012;4:779–793.
13. Hochheim S, Guedes A, Faccin-Galhardi L, Rechenchoski DZ, Nozawa C, Linhares RE, et al. Determination of phenolic profile by HPLC-ESI-MS/MS, antioxidant activity, in vitro cytotoxicity, and anti-herpetic activity of propolis from the Brazilian native bee *Melipona quadrifasciata*. *Rev Bras Farmacogn*. 2019;29:339–350. doi: 10.1016/j.bjp.2018.12.010

14. Shashikala A, Harini B, Reddy MS. HPLC analysis of flavonoids from propolis of different honeybee species in selected locations of bangalore. *Int J Pharm Sci Res.* 2019;10:5423—5429.
15. Oses SM, Pascual-Mate A, Fernandez-Muino MA, López-Díaz TM, Sancho MT. Bioactive properties of honey with propolis. *Food Chem.* 2016;196:1215—1223. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.10.050
16. Braakhuis A. Evidence on the Health Benefits of Supplemental Propolis. *Nutrients.* 2019;11(11):2705. doi: 10.3390/nu11112705
17. Franchin M, Freires IA, Lazarini JG, Nani BD, da Cunha MG, Colón DF, et al. The use of Brazilian propolis for discovery and development of novel anti-inflammatory drugs. *Eur J Med Chem.* 2018;153:49—55. doi: 10.1016/j.ejmech.2017.06.050
18. Harborne JB. Phytochemical methods. *A guide to modern techniques of plants analysis.* 2nd ed. London, New York: Chapman, and Hall Press; 1984.
19. Al-Qabaili M, Muhammad T, Al-Maghrabi S. Isolating the fungus *Fusarium oxysporum* that causes tomato wilt and studying the effect of some of its isolates on the growth of tomato plants. *Al-Baath University Journal.* 2017;39:11.
20. Dewan MM, Al-Rekaby FA. The effect of water extraction of shoots parts of some weed plant on root pathogenic fungi on tomato. *Kufa Journal of Agricultural Sciences.* 2009;1(1):115—130.
21. Al-Musawi MA, Lahov AA, Jaafar OH. Isolation and diagnosis of the pathogens causing seed decay and damping-off disease on wheat and control them using some biological and chemical factors. *Journal of Kerbala for Agricultural Sciences.* 2017;4(1):112—132. doi: 10.59658/jkas.v4i1.88
22. Abbott WS. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology.* 1925;18(2):265—267. doi: 10.1093/jee/18.2.265a
23. Cibanal IL, Fernández LA, Murray AP, Pellegrini CN, Gallez LM. Propolis extract and oregano essential oil as biofungicides for garlic seed cloves: in vitro assays and synergistic interaction against *Penicillium allii*. *Journal of Applied Microbiology.* 2021;131(4):1909—1918. doi: 10.1111/jam.15081
24. Steel RGD, Torrie JH. *Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences.* New York: McGraw Hill; 1960.
25. Mohiuddin I, Kumar TR, Zargar MI, Wani SUD, Mahdi WA, Alshehri S, et al. GC-MS analysis, phytochemical screening, and antibacterial activity of *Cerana indica* propolis from Kashmir region. *Separations.* 2022;9(11):363. doi: 10.3390/separations911036
26. Asgharpour F, Moghadamnia AA, Kazemi S, Nouri HR, Motalebnejad M. Applying GC-MS analysis to identify chemical composition of Iranian propolis prepared with different solvent and evaluation of its biological activity. *Caspian J Intern Med.* 2020;11(2):191—198. doi: 10.22088/cjim.11.2.191
27. Dudoit A, Mertz C, Chillet M, Cardinaut N, Brat P. Antifungal activity of Brazilian red propolis extract and isolation of bioactive fractions by thin-layer chromatography-bioautography. *Food Chemistry.* 2020;327:127060. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127060

About authors:

Al-Mamoori Mohammed Hadi Ibrahim — PhD scholar of plant protection, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: mhadi0981@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0299-2608

Okbagabir Shimendi Gde — PhD student of plant protection, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: shimendigde@gmail.com

ORCID: 0009-0006-8937-9230

Pakina Elena Nikolaevna — PhD in Agricultural sciences, professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: pakina-en@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-6493-6121 SPIN-code: 8336-4599

Zargar Meisam — PhD in Agricultural sciences, professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: zargar-m@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-5208-0861

Биологическая эффективность экстракта прополиса для замедления роста фитопатогенов

М.Х. Аль-Мамури, Ш.Г. Окбагабир^{id}, Е.Н. Пакина^{id}, М. Заргар^{id}✉

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

✉ zargar-m@rudn.ru

Аннотация. Прополис производится медоносными пчелами (*Apis*) из ряда нетоксичных, муцилажных смолистых и бальзамических веществ, собранных с листовых почек различных видов деревьев и являющихся продуктом жизнедеятельности пчел. Он используется в качестве изоляционного, герметизирующего и дезинфицирующего средства. Благодаря своим антимикробным свойствам прополис стал популярным альтернативным биоцидом или пищевой добавкой для профилактики заболеваний. Показано, что наличие большого количества флавоноидов, эфирных масел, фенольных соединений и антиоксидантов отвечает за большинство биологических и фармакологических свойств прополиса. Целью исследования — критический анализ различных работ, оценивающих активность прополиса против грибов, и выявление химических компонентов, ответственных за эту активность. Обсуждение использованных методологических подходов и полученных результатов является ключевым моментом исследования. Представлен химический состав прополиса, а также информация о веществах, входящих в состав, и их способности ингибировать патогенные грибы. Исследование показало, что повышение концентрации (12,5, 25, 50, 100 %) экстракта прополиса привело к увеличению скорости ингибирования роста грибов *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, *Rhizoctonia solani*. Обнаружено, что концентрация 100 мл/л была наиболее эффективной и позволила достичь самого высокого процента ингибирования роста грибов *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum* и *Rhizoctonia solani*. Средний процент ингибирования составил 85,36, 85,77 и 83,14 соответственно.

Ключевые слова: ГХ-МС анализ, химические соединения, *Fusarium oxysporum*, *Pythium aphanidermatum*, *Rhizoctonia solani* sp.

Вклад авторов: Аль-Мамури М.Х. — проведение исследований; Окбагабир Ш.Г. — обзор литературы; Пакина Е.Н. — обработка результатов исследования; Заргар М. — статистический анализ полученных данных и привлечение финансирования.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке РФФ (проект № 24-26-00113).

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

Для цитирования: Al-Mamoori M.H., Okbagabir S.G., Pakina E.N., Zargar M. The biological effectiveness of crude propolis extract in inhibiting the growth of phytopathogens // Вестник российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 592—601. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-592-601

Об авторах:

Аль-Мамури Мохаммед Хади Ибрахим — 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: mhadi0981@gmail.com

Окбагабир Шименди Где — 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: shimendigde@gmail.com

ORCID: 0009-0006-8937-9230

Пакина Елена Николаевна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: pakina-en@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-6493-6121 SPIN-код: 8336-4599

Заргар Мейсам — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: zargar-m@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-5208-0861



Почвоведение и агрохимия

Soil science and agrochemistry

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-602-617

УДК 631.417.1:528.94(470.311)

EDN AWPWMA

Научная статья / Research article

Картографирование запасов органического углерода в почвах различного землепользования Южного Подмосковья на основе архивных данных и машинного обучения

Ю.А. Дворников^{1,2}  , Л.А. Мирный²,
Е.С. Муквич² , К.В. Иващенко² 

¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино,
Российская Федерация
 ydvornikow@gmail.com

Аннотация. Приведены результаты картографирования запасов почвенного органического углерода (ПОУ) в верхнем 10-сантиметровом слое почв территориальных единиц Московской области (по сост. на 2007 г.) (1096 км² — территория Подольского района, 1101 км² — территория Серпуховского района). На основании данных почвенной съемки 2007 г. ($n = 282$) в пределах этих территориальных образований построена модель зависимости запасов ПОУ, кг/м², от различных предикторов, полученных на основе архивных карт и данных дистанционного зондирования. Предиктивная модель gradient boosting machines объяснила 56 % дисперсии запасов ПОУ. Различия в запасах в пределах различных типов землепользования были количественно показаны. В то же время, в пределах отдельных типов наибольший вклад в объяснения различий внесли данные спектральной отражательной способности в ближнем инфракрасном канале (B5) Landsat-5 TM (объясняет пространственную изменчивость ПОУ среди залежей и урбанизированных территорий) и спектральный индекс NDVI — показатель количества

© Дворников Ю.А., Мирный Л.А., Муквич Е.С., Иващенко К.В., 2024

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

фотосинтетически активной биомассы (объясняет пространственную изменчивость ПОУ в лесных экосистемах). Среднеквадратическая ошибка кросс-валидации $RMSE_{cv} = 0,67 \text{ кг/м}^2$ выбрана для описания неопределенности предсказания запасов ПОУ. Полученные данные можно использовать при расчетах потенциала почв к секвестрации углерода вследствие динамики землепользования на региональном уровне.

Ключевые слова: Landsat, стохастический градиентный бустинг, рельеф, почвенный органический углерод, параметризация, спектральная трансформация, Московская область

Вклад авторов: Дворников Ю.А. — анализ и интерпретация данных, анализ данных дистанционного зондирования и моделирование, написание текста; Мирный Л.А., Муквич Е.С. — сбор и обработка материалов; Иващенко К.В. — концепция и дизайн исследования, написание текста. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122111000095-8) в рамках работы молодежной лаборатории.

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

История статьи: поступила 16 сентября 2024 г., принята к публикации 18 ноября 2024 г.

Для цитирования: Дворников Ю.А., Мирный Л.А., Муквич Е.С., Иващенко К.В. Картографирование запасов органического углерода в почвах различного землепользования Южного Подмоскovie на основе архивных данных и машинного обучения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 602—617. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-602-617

Mapping soil organic carbon stocks of different land use types in the Southern Moscow region by applying machine learning to legacy data

Yury A. Dvornikov^{1,2}  , Lukyan A. Mirniy²,
Ekaterina S. Mukvich² , Kristina V. Ivashchenko² 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science RAS, Pushchino, Russian Federation

 ydvornikow@gmail.com

Abstract. This study presents the result of topsoil (0—10 cm) soil organic carbon (SOC) mapping in two areas of Moscow Region (2007 status): 1096 km² — Podolsky District, and 1101 km² — Serpukhovsky District. Based on 2007 legacy soil sampling data ($n = 282$) within these areas, we have created a statistical model between the target variable (SOC stocks, kg/m²) and numerous covariates (legacy maps and remote sensing data). GBM model has explained 56% of soil organic carbon stocks variability. Differences in stocks within different land use types were shown quantitatively. At the same time, the spectral reflectance in the near infrared band (B5) of Landsat-5 TM made the greatest contribution in explaining the differences within individual types (among fallow lands and urbanized areas), and the spectral index NDVI has explained the spatial variability of soil organic carbon among forest ecosystems. The root mean square error of cross-validation ($RMSE_{cv} = 0.67 \text{ kg/m}^2$) was chosen to describe the uncertainty of soil organic carbon stock prediction. According to the model, the total soil organic carbon stocks in the upper 10 cm soil layer of the Podolsky District were $2.65 \pm 0.72 \text{ Tg}$, for the Serpukhovsky District — $2.77 \pm 0.73 \text{ Tg}$.

Key words: Landsat, stochastic gradient boosting, relief, soil organic carbon, parameterization, spectral transformation, Moscow region

Author's contribution: Dvornikov Y.A. — analysis and interpretation of results, remote sensing data analysis and modelling, scientific writing; Mirniy L.A., Mukvich E.S. — data collection and processing; Ivashchenko K.V. — study conception and design, scientific writing. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Funding. The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (No. 122111000095-8) as part of the work of the youth laboratory.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 16 September 2024; accepted 18 November 2024.

For citation: Dvornikov YA, Mirniy LA, Mukvich ES, Ivashchenko KV. Mapping soil organic carbon stocks of different land use types in the Southern Moscow region by applying machine learning to legacy data. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):602—617. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-602-617

Введение

Почвенный органический углерод (ПОУ) или углерод органических соединений — одна из главных переменных, влияющих на климат (essential climate variable, ECV)¹. Его запасы обычно оцениваются для почвенных слоев: 0–100 см, 0–30 см и 0–10 см. Глобальные запасы ПОУ в почвах наземных экосистем составляют 1462...1548 Гт в первом метре и 684...724 Гт в верхнем 30 см слое [1]. Однако глобальные оценки пространственного распределения запасов ПОУ обладают недостаточной точностью из-за ограниченного количества данных на региональном уровне и высокой пространственной изменчивостью переменной [2].

Гумусово-аккумулятивный горизонт почвы обладает способностью сохранять и накапливать ПОУ, выполняя важную климаторегулирующую функцию [3]. Традиционно данные запасов ПОУ являются результатом почвенной съемки с отбором образцов [4] и их последующей обработки в лабораторных условиях. Однако часто детальные данные таких почвенных съемок на региональном уровне отсутствуют или ограничены [5]. При этом получение детальной информации о пространственном распределении запасов ПОУ необходимо для выявления их динамики во времени (мониторинг) [6]; моделирования и оценки потенциальной эмиссии парникового газа CO₂ в атмосферу на региональном уровне [7]; принятия решений по ландшафтному планированию. Для достижения этих целей активно применяются методы цифрового почвенного картографирования (ЦПК) [8, 9].

За последние двадцать лет ЦПК очень активно применяется для изучения пространственного распределения параметров физико-химических свойств почв [10]. При картографировании содержания и запасов ПОУ на разных масштабных уровнях применяются различные методы ЦПК — геостатистические (методы интерполяции), негеостатистические (линейные и нелинейные модели регрессии с набором пре-

¹ World Meteorological Organization. Soil Carbon: essential climate variable (ECV), factsheet. Режим доступа: <https://cos.wmo.int/en/essential-climate-variables/soil-carbon/> Дата обращения: 26.03.2024.

дикторов (объясняющих переменных) [11]) и комбинированные [12], набирающие большую популярность в связи с их потенциально большей точностью предсказания [13, 14]. Предикторами в негеостатистических и комбинированных подходах являются пространственные данные, количественно или качественно описывающие традиционные факторы почвообразования по В.В. Докучаеву [15]. В ЦПК выбор таких предикторов был в 2003 г. формализован принципом SCOPRAN: soil (S), climate (C), organisms (O), parent material (P), relief (R), age (A), and space (N) [8]. Частота использования различных предикторов определяется возможностью получить эти пространственные данные в цифровом виде на всю территорию картографирования (рельеф и его производные) [16–18], типы землепользования (land-use) и данные земной поверхности (land cover) [19, 20], метеорологические параметры, геологические и почвенные карты [9, 13, 21]). В особенности методы ЦПК актуальны для урбанизированных территорий, где высока пространственная изменчивость ПОУ на локальных участках вследствие хозяйственной деятельности [20].

Пример ЦПК на глобальном уровне — SoilGrids [22]. Для территории России (национальный уровень) построена карта запасов ПОУ (0–5 см, 5–15 см и глубже до 200 см) на основании негеостатистического подхода: в этом подходе применялось ансамблевое машинное обучение с набором предикторов и ограниченным набором почвенных профилей ($n = 863$) [23]. На региональном уровне — для территории Московской области (включая Москву) — на основе генерализованной модели линейной регрессии с учетом предикторов, отражающих степень урбанизации, посчитаны средние запасы ПОУ в почвах для верхнего слоя ($3,1 \pm 1,6$ кг/м²) и общие запасы для этого слоя (142 ± 74 Тг) [20]. Применение комбинированных методов ЦПК (Random Forest + Ordinary Kriging of residuals) с использованием спектральной отражательной способности данных Sentinel-2 в качестве предикторов показало наилучшее качество предсказания (наименьшее среднеквадратическое отклонение (СКО)) для содержания ПОУ на локальном участке в Ленинградской области [24]. Точность предсказания для разных масштабных уровней в основном относится к рангу незначительно удовлетворительной (36...41 % варьирования) [25] и обусловлена грамотно спланированным дизайном отбора в соответствии с выбранным методом картографирования [26, 27], качеством и оптимальностью выбранных предикторов, размером и качеством выборки для обучения, а также выбранным размером ячейки [17, 28].

Применение методов ЦПК особенно актуально в России ввиду большой территории, и неравномерности распределения и ограниченности доступных данных [2, 23]. Особенно это актуально для сельскохозяйственных областей и агрохозяйств [29], поскольку внедрение ресурсосберегающих технологий в практику земледелия является одним из подходов к сохранению плодородия почв, что требует детальных пространственных оценок запасов ПОУ на основе ограниченного набора данных опробования [16].

Цель исследования — оценка в 10-сантиметровом слое почв различного землепользования на территории двух административных районов МО (в границах

2007 г.) запасов ПОУ, выявление определяющих их пространственную изменчивость факторов, а также сравнение полученных данных с имеющимися данными других регионов. *Задачи:* 1) подготовка пространственных данных (предикторов) в виде многоканального растра; 2) создание статистической модели для ПОУ; 3) картографирование и выявление значимых факторов, определяющих пространственное распределение запасов ПОУ.

Материалы и методы исследования

Территория исследования включает: 1) территорию бывшего Серпуховского района Московской области вместе с городскими округами (ГО) Пущино, Протвино и Серпуховом — 1101 км² (с 2023 г. — эта территория принадлежит ГО); 2) территорию бывшего Подольского района, в т.ч. Подольск ГО и Климовск ГО — 1096 км² (с 2012 г. 757 км² этой территории входят в состав Троицкого административного округа г. Москвы (территории поселений Роговского, Клёновского, Вороновского, Михайлово-Ярцевского, Краснопахорского, Щаповского и Троицка), остальные 339 км² составляют (с 2015 г.) территорию Подольска ГО). Обе территории расположены в зоне умеренного-континентального климата (Dfb — Cold, no dry season, warm summer по классификации Кёппена [30]). Среднегодовая температура воздуха по данным метеостанции Серпухов с 1990 по 2023 г. — 19,2 °С в июле и –6,8 °С в январе. Рельеф расчлененный, абсолютные высоты составляют от 125 до 250 м н.у.м, доминирующие почвы — дерново-подзолистые и серые на покровных суглинках [31]. Значительная часть территории антропогенно-преобразованная — сельскохозяйственные поля, залежи, урбанизированные территории занимают 14, 31, и 2,5 % соответственно.

Архивные данные почвенной съемки. Образцы почвы отобраны осенью 2007 г. в соответствии с методикой² в рамках диссертационной работы [32]. На топографической карте территории изучаемых районов предварительно выделяли условные квадраты, сторона которых составляла 2 и 5 км для Серпуховского и Подольского районов соответственно. На местности в каждом намеченном квадрате выбирали ровную площадку (10 × 10 м), из пяти точек которой отбирали образцы почвы (метод «конверта») из верхнего органоминерального 10-сантиметрового слоя, готовили смешанный образец. В естественных экосистемах растительную подстилку в анализ не включали. При отборе образцов фиксировали тип землепользования (экосистему): лес, залежь (2–10 лет), пашня, земли поселений (урбанизированные территории); доминирующую растительность; географические координаты. Всего было отобрано 282 образца, из них 237 — в Серпуховском и 45 — в Подольском районах. До начала анализа смешанные образцы почвы просеивали через сито с диаметром ячеек 2 мм. В почвенных образцах были определены различные показатели, в т.ч. и содержание органического углерода $C_{\text{орг}}$ методом бихроматного окисления, что послужило основой для расчета его запасов. Данные объемного веса для расчетов запасов ПОУ были получены на основании модели ($R^2 = 0,78$),

² Почвенная съемка / под ред. И.В. Тюрина и др. М.: Российская Академия Наук, 1959. 346 с.

которая основана на связи содержания $C_{\text{орг}}$ и плотности почвы [33]. Детали методики отбора и подготовки почвенных образцов в [32].

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) и предикторы. Всего мы использовали 21 предиктор, напрямую или косвенно описывающий факторы почвообразования на основе принципа SCOPRAN [8] (табл. 1). Морфометрические показатели рассчитаны на основе цифровой модели рельефа SRTM с разрешением 30 м. Данные спектральной отражательной способности, %, а также производные результаты спектральной трансформации получены с использованием медианного композита данных Landsat-5 TM за летний период 2007 г. Карта типов землепользования получена на основе классификации с обучением (*smileRandomForest*) [34], общая точность на основании матрицы соответствия — 97%. Данные типов почв и гранулометрического состава получены с использованием цифровой почвенной карты Московской области [30]: векторные данные были растеризованы и приведены к разрешению данных Landsat-5 и SRTM — 30 м. Обработка пространственных данных выполнена с использованием платформы облачных вычислений Google Earth Engine [35].

Таблица 1

Список использованных предикторов для предсказания запасов ПОУ в слое почв 0–10 см

SCOPRAN	Предиктор (код)	Источник	Ссылка
R	Высота (elev)	ЦМР SRTM 30m	
R	Уклон (slope)	—	
R	Экспозиция (aspect)	—	
R, N	Топографический индекс влажности (twi)	—	[36]
R	Направление стока (flowdir)	—	[37]
R	Аккумуляция стока (flowacc)	—	[37]
P, A, N	B1_BLUE (b1)	Landsat-5 TM (медиана)	
P, A, N	B2_GREEN (b2)	—	
P, A, N	B3_RED (b3)	—	
P, A, N	B4_NIR1 (b4)	—	
P, A, N	B5_NIR2 (b5)	—	
P, A, N	B7_SWIR (b7)	—	
P, A, N	B3/B2 (b2b3_ratio)	—	[38]
P, A, N	B5/B4 (b5b4_ratio)	—	[38]
O	NDVI (ndvi)	—	[39]
O	SAVI (savi)	—	
C	MNDWI (mndwi)	—	[40]
P, N	NDBI (ndbi)	—	[41]
O, A, S	Карта типов землепользования (landcover)	—	
S	Тип почв (soils)	Почвенная карта МО	[31]
P, S	Гранулометрический состав (gms)	Почвенная карта МО	[31]

Примечание. R — рельеф; N — пространство; A — возраст; P — материнская порода; O — организмы; C — климат; S — почва.

Источник: составитель Ю.А. Дворников.

List of covariates used to predict SOC in the 0–10 cm of soils

SCOPRAN	Predictor (code)	Source	Link
R	elevation (elev)	DEM SRTM 30m	
R	slope (slope)	–	
R	aspect (aspect)	–	
R, N	Topographic Wetness Index (twi)	–	[38]
R	flow direction (flowdir)	–	[39]
R	flow accumulation (flowacc)	–	[39]
P, A, N	B1_BLUE (b1)	Landsat-5 TM (median)	
P, A, N	B2_GREEN (b2)	–	
P, A, N	B3_RED (b3)	–	
P, A, N	B4_NIR1 (b4)	–	
P, A, N	B5_NIR2 (b5)	–	
P, A, N	B7_SWIR (b7)	–	
P, A, N	B3/B2 (b2b3_ratio)	–	[40]
P, A, N	B5/B4 (b5b4_ratio)	–	[40]
O	NDVI (ndvi)	–	[41]
O	SAVI (savi)	–	
C	MNDWI (mndwi)	–	[42]
P, N	NDBI (ndbi)	–	[43]
O, A, S	land use map (landcover)	–	
S	soil type (soils)	Soil map of the Moscow region	[32]
P, S	grain-size composition (gms)	Soil map of the Moscow region	[32]

Note. R – relief; N – space; A – age; P – parent material; O – organisms; C – climate; S – soil.

Source: compiled by Yu.A. Dvornikov.

Моделирование. Для точек отбора образцов с рассчитанными запасами ПОУ (зависимая переменная, кг/м²) были получены значения предикторов в соответствующих пикселах растровой модели (21 независимая переменная). Моделирование проводилось с использованием модели gradient boosting machines

(GBM) пакета *caret* в среде RStudio³. Для оценки неопределенности применялась 10-размерная перекрестная проверка (кросс-валидация) с пятью повторами. Изменяемыми параметрами настройки приняты: 1) количество деревьев решений; 2) скорость обучения (*learning rate / shrinkage*); 3) количество листовых узлов (нодов) в одном дереве решений (*interaction depth*); 4) минимальное количество наблюдений в одном листовом узле. По результатам тестирования наилучшими значениями параметров настройки выявлены: 2000, 0.001, 5, 10 соответственно. Выбор оптимальных параметров основывался на метриках качества построенных моделей: коэффициент детерминации, СКО и средняя ошибка при кросс-валидации соответственно (R^2_{cv} , $RMSE_{cv}$, MAE_{cv}). $RMSE_{cv}$ являлась метрикой оценки неопределенности при предсказании ПОУ для территорий двух территориальных единиц. Расчет запасов для каждой территориальной единицы (района) производился суммированием предсказанных запасов ПОУ, $кг/м^2$, помноженных на разрешение растровой модели ($900 м^2$).

Результаты исследования и обсуждение

Запасы ПОУ для изученной территории варьировали в широких пределах от 0,54 до 7,1 $кг/м^2$ (рис. 1). Наибольшие запасы ПОУ отмечены для лесных и городских экосистем (в среднем 2,79 и 2,68 $кг/м^2$), наименьшие — залежных и пахотных (2,01 и 1,71 $кг/м^2$), что, в целом, согласуется с данными, полученными ранее [20] для этой территории, но с более низким пространственным разрешением.

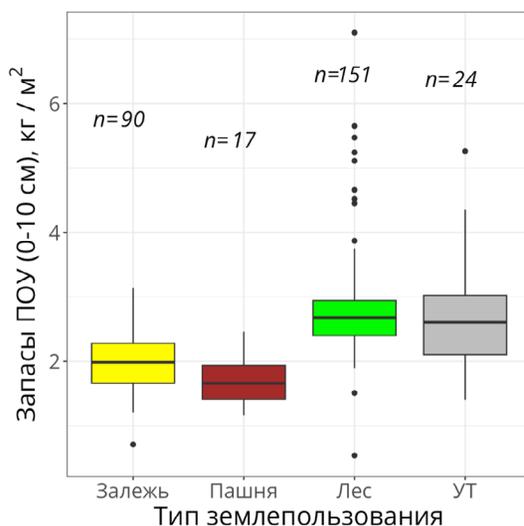


Рис. 1. Распределение запасов ПОУ разных типов землепользования по архивным данным почвенной съемки: УТ – урбанизированные территории

Источник: выполнил Ю.А. Дворников.

³ R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. Режим доступа: <https://intro2r.com/citing-r.html> Дата обращения: 26.03.2024.

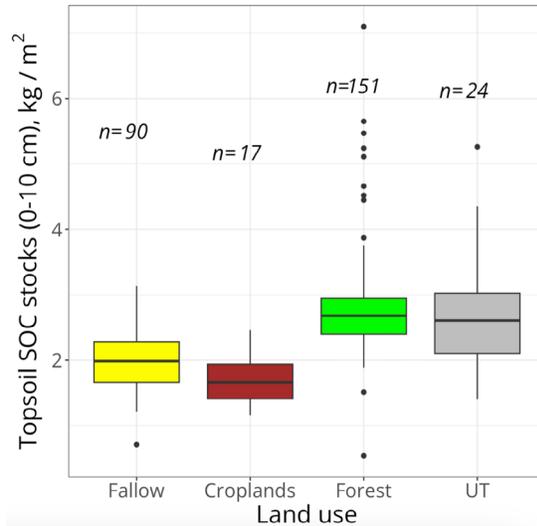


Fig. 1. Distribution of topsoil SOC stocks of different land use types according to legacy soil survey data: UT – urbanized territories

Source: compiled by Yu.A. Dvornikov.

Созданная предиктивная модель GBM с оптимальными параметрами настройки умеренно предсказывала запасы ПОУ в почве (56 % дисперсии). $RMSE_{cv}$ модели была оценена в $0,67 \text{ кг/м}^2$. В целом модель показала, что все предикторы вносят определенный вклад в объяснение пространственной изменчивости ПОУ. Основные предикторы, которые оказывали наибольшее влияние на зависимую переменную: значение спектральной яркости в ближнем инфракрасном диапазоне (b_5 — 18,2 %); $ndvi$ (14,1 %); значение спектральной яркости в зеленом диапазоне (6,8 %); экспозиция склона (6,4 %); тип землепользования (6,2 %). Вклад остальных параметров был менее значительный (< 6 %) (рис. 2, а).

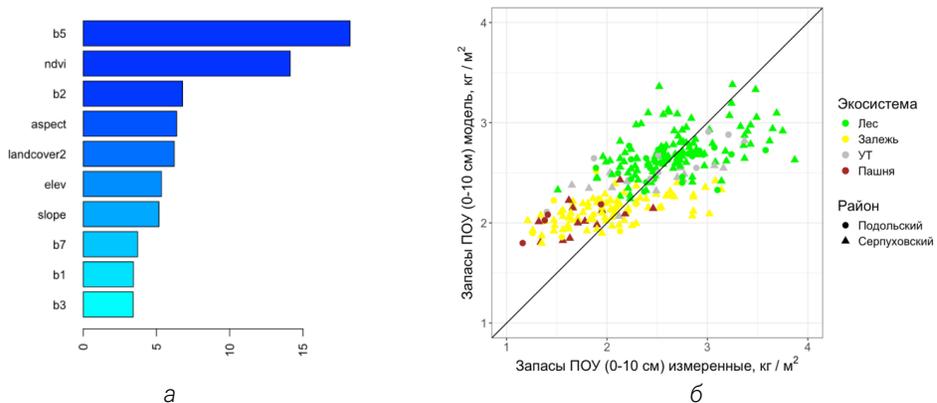


Рис. 2. Относительный вклад предикторов, %, в объяснение дисперсии ПОУ в верхнем 10-сантиметровом слое (а) и сопоставление измеренных и предсказанных величин запасов (0–10 см) ПОУ в двух районах Московской области (б).
Условное обозначение: УТ – урбанизированные территории

Источник: выполнил Ю.А. Дворников.

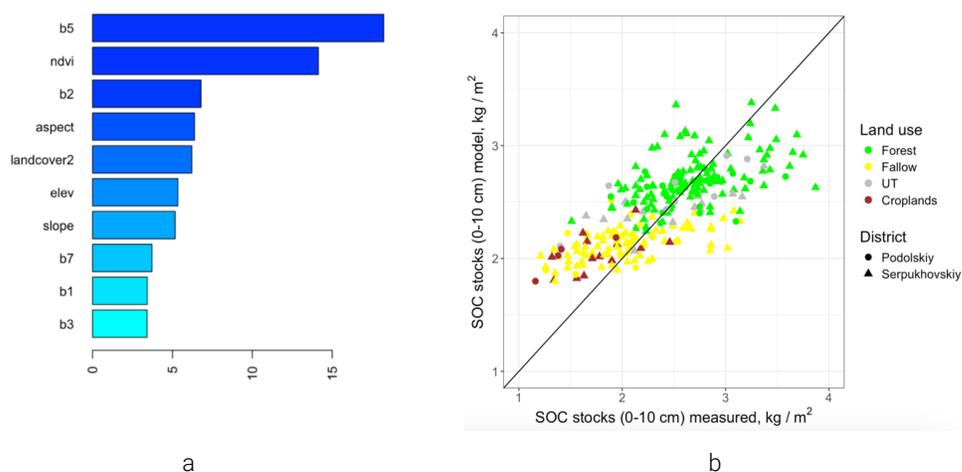


Fig. 2. Relative importance of predictors, %, explaining the variability of SOC in the upper 10cm layer (a), and comparison of measured and predicted SOC stocks values (0–10 cm) in two districts of the Moscow region (b).

UT – urbanized territories

Source: compiled by Yu.A. Dvornikov.

Установлено нелинейное влияние спектральной отражающей способности (СОС) в ближнем инфракрасном канале (b5, СОС в диапазоне от 1,55 до 1,75 мкм) на запасы ПОУ. Практически не наблюдалось влияние СОС при ее значениях менее 14 % (в основном, древесная растительность) (максимальные предсказанные значения — более 2,6 кг/м²) и выше 30 % (в основном пашни) (минимальные предсказанные значения — менее 2,3 кг/м²). Стабильное уменьшение запасов ПОУ с 2,7 до 2,3 кг/м² наблюдалось в диапазоне значений СОС от 14 до 20 % (обратная связь) — эти значения соответствуют, главным образом, урбанизированным территориям и части земель, относящихся к залежам. Эта зависимость показала, что увеличение доли растительного покрова (в пикселе) в пределах урбанизированных территорий и залежей положительно влияет на запасы ПОУ (озелененные территории в населенных пунктах закономерно отличаются по запасам от территорий, относящихся к ранним залежам). Прямая зависимость увеличения ПОУ выявлена для ndvi, но только на участке, большем 0,81 (здоровая растительность с высоким проективным покрытием): при увеличении ndvi с 0,81 до 1 наблюдалось среднее увеличение запасов ПОУ в пределах от 2,4 до 2,9 кг/м². Сам параметр «тип землепользования» показал четкие средние различия между четырьмя классами по запасам, однако эти средние различия не оказались столь значимыми, нежели кумулятивный эффект множества параметров рельефа и спектральных свойств. Очевидно, что этот параметр требует дополнительного разбиения на более дробные категории (тип древостоя, посевные культуры для пашен, время начала трансформации пашен в залежи и т.д.). Можно констатировать, что b5 и ndvi позволяют уточнить запасы ПОУ в пределах различных типов землепользования: b5 — внутри урбанизированных территорий и залежей; ndvi — в пределах лесных экосистем, как было четко показано по данным созданной модели GBM. Пространственные

различия в ПОУ в пределах пахотных экосистем использованные в работе предикторы практически не объясняют и, тем самым, вносят менее очевидный вклад в минимизацию ошибки предсказания.

Зависимость измеренных и смоделированных значений приведена на рис. 2, б. Основной недостаток полученной модели — недооценка значений с большими запасами ПОУ ($> 3,5 \text{ кг/м}^2$) из-за маленькой выборки для этих значений и переоценка низких значений ($< 2 \text{ кг/м}^2$). По данным модели, общие запасы ПОУ в верхнем 10-сантиметровом слое почв Подольского района составили $2,65 \pm 0,72 \text{ Тг}$, Серпуховского района — $2,77 \pm 0,73 \text{ Тг}$. Карты запасов ПОУ приведены на рис. 3.

Среди четырех основных типов землепользования наибольшие суммарные запасы определены в лесных экосистемах из-за большей площади распространения (~50 % территории) и наибольших предсказанных запасов ПОУ (табл. 2) — $3,16 \pm 0,76 \text{ Тг}$. Суммарные запасы ПОУ для залежей и пашен составили $1,46 \pm 0,45$ и $0,65 \pm 0,2 \text{ Тг}$ соответственно. Суммарные запасы ПОУ для урбанизированных территорий были наименьшими ($0,15 \pm 0,04 \text{ Тг}$) вследствие их небольшой площади (2,5 % от общей площади). Суммарные запасы ПОУ в верхнем 10-сантиметровом слое почв отдельно для Подольского и Серпуховского районов для четырех основных типов землепользования приведены в табл. 2.

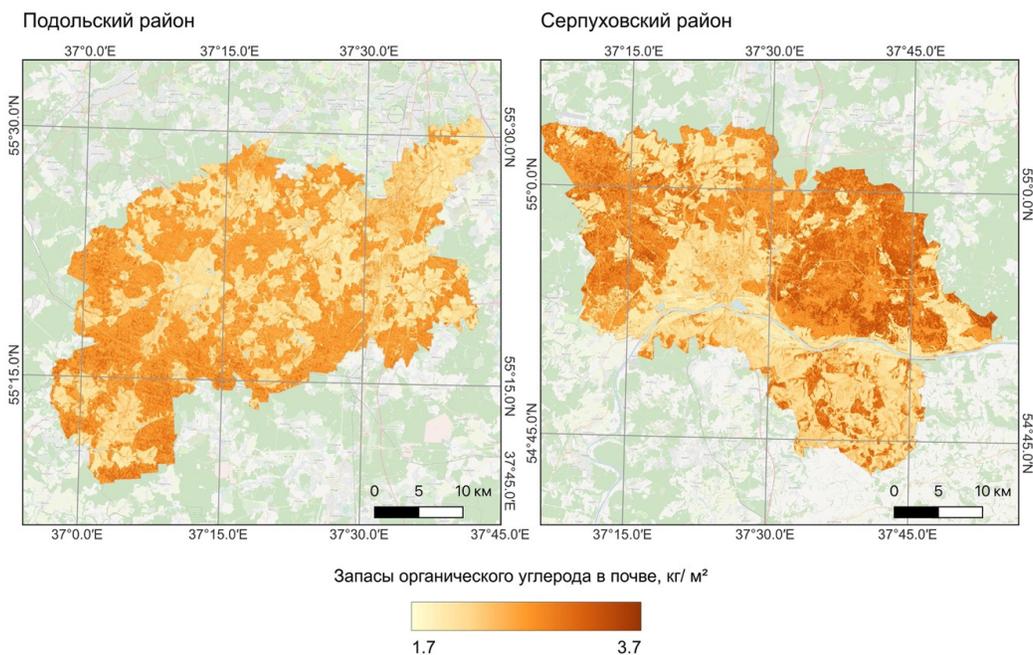


Рис. 3. Пространственное распределение запасов ПОУ в почвах (0–10 см) Подольского и Серпуховского районов Московская обл. (предсказанные значения по состоянию на 2007 г.)

Источник: выполнил Ю.А. Дворников.

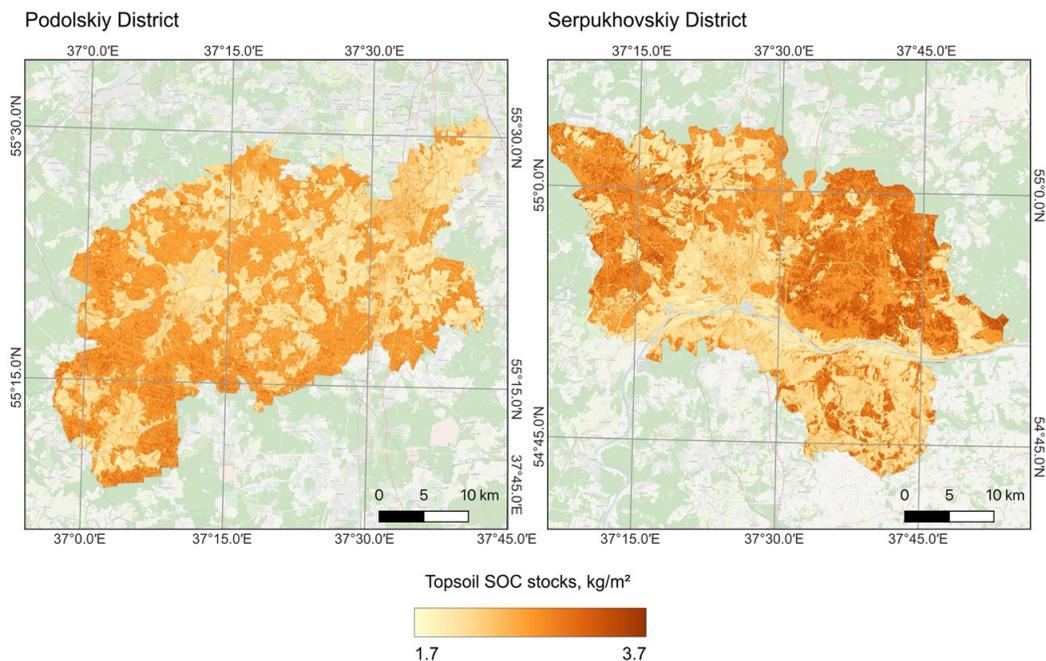


Fig. 3. Spatial distribution of SOC stocks in the topsoil (0–10 cm) for Podolskiy and Serpukhovskiy districts of Moscow region (predicted values as of 2007)

Source: compiled by Yu.A. Dvornikov.

Таблица 2

Суммарные запасы ПОУ в верхнем 10-сантиметровом слое почв Подольского и Серпуховского административных районов (по сост. на 2007 г.) для четырех основных типов землепользования

Район	Тип землепользования	Предсказанные запасы ПОУ, Тг	Пределы неопределенности, Тг	
			Нижний	Верхний
Подольский	Лесные экосистемы	1,48	1,11	1,84
	Залежные земли	0,62	0,43	0,81
	Урбанизированные территории	0,09	0,07	0,12
	С/Х угодья	0,46	0,32	0,6
Серпуховский	Лесные экосистемы	1,68	1,29	2,07
	Залежные земли	0,84	0,58	1,1
	Урбанизированные территории	0,05	0,04	0,07
	С/Х угодья	0,2	0,13	0,26

Источник: составитель Ю.А. Дворников.

Total SOC stocks in the upper 10 cm soil layer of Podolskiy and Serpukhovskiy administrative districts (as of 2007) for four main land use types

District	Land use	Predicted SOC stocks, Tg	Limit of uncertainty, Tg	
			Lower	Upper
Podolskiy	Forest ecosystems	1.48	1.11	1.84
	Fallow lands	0.62	0.43	0.81
	Urbanized territories	0.09	0.07	0.12
	Croplands	0.46	0.32	0.6
Serpukhovskiy	Forest ecosystems	1.68	1.29	2.07
	Fallow lands	0.84	0.58	1.1
	Urbanized territories	0.05	0.04	0.07
	Croplands	0.2	0.13	0.26

Source: compiled by Yu.A. Dvornikov.

Заключение

Получены результаты статистических исследований взаимосвязей запасов ПОУ с морфометрическими и спектральными параметрами. Применение нелинейной предиктивной модели GBM позволило проанализировать взаимосвязи между 21 предиктором и получить результат, объясняющий 56 % дисперсии запасов углерода при $RMSE_{cv} = 0,67 \text{ кг/м}^2$. Модель хорошо сработала для диапазона средних измеренных значений $1,5 \dots 3 \text{ кг/м}^2$, но недооценивала высокие ($> 3 \text{ кг/м}^2$) значения запасов ПОУ в почве и переоценивала более низкие значения — $< 1,5 \text{ кг/м}^2$. Применение полученной модели позволило рассчитать общие запасы для территорий двух районов Московской области и построить карты их распределения. По данным модели, общие запасы ПОУ в верхнем 10-сантиметровом слое почв Подольского района составили $2,65 \pm 0,72 \text{ Тг}$, для Серпуховского района — $2,77 \pm 0,73 \text{ Тг}$. Среди четырех основных типов землепользования наибольшие суммарные запасы определены в лесных экосистемах из-за большей площади распространения (~50 % территории) и наибольших предсказанных запасов ПОУ — $3,16 \pm 0,76 \text{ Тг}$. Суммарные запасы для залежей, урбанизированных территорий и пашен составляли $1,46 \pm 0,45$, $0,15 \pm 0,04$ и $0,65 \pm 0,2 \text{ Тг}$ соответственно.

Список литературы / References

1. Batjes NH. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 1996;47(2):151—63. doi: 10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x
2. Chernova OV, Golozubov OM, Alyabina IO, Schepaschenko DG. Integrated approach to spatial assessment of soil organic carbon in the Russian Federation. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(3):325—336. doi: 10.1134/s1064229321030042

3. Minasny B, Malone BP, McBratney AB, Field DJ, Odeh I, Padarian J, et al. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*. 2017;292:59–86. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002
4. de Gruijter JJ, Brus DJ, Bierkens MFP, Knotters M. *Sampling for natural resource monitoring*. Berlin (Germany) etc.: Springer; 2006. doi: 10.1007/3-540-33161-1
5. Kudeyarov VN, Zavarzin GA, Blagodatskiy SA, Borisov AV, Voronin PY, Demkin VA, et al. *Puly i potoki ugleroda v nazemnykh ekosistemah Rossii* [Carbon pools and flows in terrestrial ecosystems of Russia]. Moscow: Nauka publ.; 2007. (In Russ).
6. Zhang Z, Xia L, Zhao Z, Zhao F, Hou G, Wu S, et al. How land use transitions contribute to the soil organic carbon accumulation from 1990 to 2020. *Remote Sensing*. 2024;16(7):1308. doi: 10.3390/rs16071308
7. Kurganova IN, Lopes de Gerenju VO, Mjakshina TN, Sapronov DV, Savin IJU, Shorohova EV. Carbon balance in forest ecosystems of Southern Moscow region under rising aridity of climate. *Lesovedenie*. 2016;(5):332–345. (In Russ).
Курганова И.Н., Лопес де Генерю В.О., Мьякина Т.Н., Сапронв Д.В., Савин И.Ю., Шорохова Е.В. Баланс углерода лесных экосистем южного Подмосквья в условиях усиления засушливости климата // Лесоведение. 2016. № 5. С. 332–345.
8. McBratney AB, Mendonça Santos ML, Minasny B. On digital soil mapping. *Geoderma*. 2003;117(1–2):3–52. doi: 10.1016/s0016-7061(03)00223-4
9. Minasny B, McBratney AB, Malone BP, Wheeler I. Digital Mapping of Soil Carbon. *Advances in Agronomy*. 2013;118:1–47. doi: 10.1016/b978-0-12-405942-9.00001-3
10. Savin IY, Zhogolev AV, Prudnikova EY. Modern Trends and Problems of Soil Mapping. *Eurasian Soil Science*. 2019;52(5):471–480. doi: 10.1134/s1064229319050107
11. Wadoux AMJC, Minasny B, McBratney AB. Machine learning for digital soil mapping: Applications, challenges and suggested solutions. *Earth-Science Reviews*. 2020;210:103359. doi: 10.1016/j.earscirev.2020.103359
12. Li J, Heap AD. Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review. *Environmental Modelling & Software*. 2014;53:173–189. doi: 10.1016/j.envsoft.2013.12.008
13. Gopp NV, Meshalkina JL, Narykova AN, Plotnikova AS, Chernova OV. Mapping of soil organic carbon content and stock at the regional and local levels: the analysis of modern methodological approaches. *Forest science issues*. 2023;6(1):1–59. (In Russ.). doi: 10.31509/2658-607x-202361-120
Гопн Н.В., Мешалкина Ю.Л., Нарыкова А.Н., Плотникова А.С., Чернова О.В. Картографирование содержание и запасов органического углерода почв на региональном и локальном уровнях: анализ современных методиче-ских подходов // Вопросы лесной науки. 2023. Т. 6. № 1. С. 1–59. doi: 10.31509/2658-607x-202361-120
14. Veronesi F, Schillaci C. Comparison between geostatistical and machine learning models as predictors of topsoil organic carbon with a focus on local uncertainty estimation. *Ecological Indicators*. 2019;101:1032–1044. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.02.026
15. Florinsky IV. The Dokuchaev hypothesis as a basis for predictive digital soil mapping (on the 125th anniversary of its publication). *Eurasian Soil Science*. 2012;45(4):445–451. (In Russ.). doi: 10.1134/S1064229312040047
Флоринский И.В. Гипотеза Докучаева как основа цифрового прогнозного почвенного картографирования (к 125-летию публикации) // Почвоведение. 2012. № 4. С. 500–506. doi: 10.1134/S1064229312040047
16. Ivashchenko KV, Sushko SV, Dvornikov YA, Mirny LA, Orlova LV, Ananyeva ND, et al. Soil Organic Carbon Stocks under No-Tillage in the Middle Volga Region. *Agrohimia*. 2023;(12):47–56. (In Russ.). doi: 10.31857/s0002188123110066
Иващенко К.В., Сушко С.В., Дворников Ю.А., Мирный Л.А., Орлова Л.В., Ананьева Н.Д. и др. Запасы почвенного органического углерода при нулевой обработке почвы в условиях Среднего Поволжья // Агрохимия. 2023. № 12. С. 47–56. doi: 10.31857/S0002188123110066
17. Dvornikov Y, Slukovskaya M, Yaroslavtsev A, Meshalkina J, Ryazanov A, Sarzhanov D, et al. High-resolution mapping of soil pollution by Cu and Ni at a polar industrial barren area using proximal and remote sensing. *Land Degradation & Development*. 2022;33(10):1731–1744. doi: 10.1002/ldr.4261
18. Florinsky IV, Eilers RG, Manning GR, Fuller LG. Prediction of soil properties by digital terrain modelling. *Environmental Modelling and Software*. 2002;17(3):295–311. doi: 10.1016/s1364-8152(01)00067-6
19. Dvornikov YA, Vasenev VI, Romzaykina ON, Grigorieva VE, Litvinov YA, Gorbov SN, et al. Projecting the urbanization effect on soil organic carbon stocks in polar and steppe areas of European Russia by remote sensing. *Geoderma*. 2021;399:115039. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115039
20. Vasenev VI, Stoorvogel JJ, Vasenev II, Valentini R. How to map soil organic carbon stocks in highly urbanized regions? *Geoderma*. 2014;226–227:103–115. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.03.007

21. Dobrovolsky GV, Urusevskaya IS. *Geografiya pochv* [Soil geography]. Moscow: Nauka publ.; 2006. (In Russ.).
Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М. : МГУ, Наука, 2006. 464 с.
22. Poggio L, de Sousa LM, Batjes NH, Heuvelink GBM, Kempen B, Ribeiro E, et al. SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *SOIL*. 2021;7(1):217–240. doi: 10.5194/soil-7-217-2021
23. Chinilin AV, Savin IY. Estimation of organic carbon content in Russian soils using ensemble machine learning. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2022;(6):49–63. (In Russ.). doi:10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-49-63
Чинилин А.В., Савин И.Ю. Оценка содержания органического углерода почв России с помощью ансамблевого машинного обучения // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2022. № 6. С. 49–63. doi: 10.55959/MSU0579-9414-5-2022-6-49-63
24. Suleymanov A, Abakumov E, Nizamutdinov T, Polyakov V, Shevchenko E, Makarova M. Soil organic carbon stock retrieval from Sentinel-2A using a hybrid approach. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2024;196(1):23. doi: 10.1007/s10661-023-12172-y
25. Lado LR, Hengl T, Reuter HI. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS Geochemical database. *Geoderma*. 2008;148(2):189–199. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.09.020
26. Wadoux AMJC, Brus DJ. How to compare sampling designs for mapping? *European Journal of Soil Science*. 2020;72(1):35–46. doi: 10.1111/ejss.12962
27. Wadoux AMJC, Brus DJ, Heuvelink GBM. Sampling design optimization for soil mapping with random forest. *Geoderma*. 2019;355:113913. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.113913
28. Hengl T. Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*. 2006;32(9):1283–1298. doi: 10.1016/j.cageo.2005.11.008
29. Romanenkov VA, Meshalkina JL, Gorbacheva AY, Krenke AN, Petrov IK, Golozubov OM, et al. Maps of Soil Organic Carbon Sequestration Potential in the Russian Croplands. *Eurasian Soil Science*. 2024;57(5):737–750. doi: 10.1134/s106422932360375x
30. Beck HE, Zimmermann NE, McVicar TR, Vergopolan N, Berg A, Wood EF. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 2018;5(1): 180214. doi: 10.1038/sdata.2018.214
31. Boldyreva VE, Golozubov OM, Litvinov YA, Minaeva EN, Pulin AV. *Tsifrovaya srednemashtabnaya Pochvennaya karta Moskovskogo regiona* [Digital meso-scale soil map of Moscow Oblast']. Mapping division of IS SSDB. Available from: <https://soil-db.ru/map?name=moscow-region> [Accessed 15th April 2024] (In Russ.).
Болдырева В.Э., Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Минаева Е.Н., Пулин А.В. Цифровая среднemashtabnaya Почвенная карта Московского региона в Картографическом блоке ИС ПГБД, Информационная система Почвенно-географическая база данных России. Режим доступа: <https://soil-db.ru/map?name=moscow-region>. Дата обращения: 15.04.2024.
32. Gavrilenko EG. *Biologicheskiye svoystva pochvy dlya ikh ekologo-ekonomicheskoi otsenki (na primere Serpukhovskogo i Podol'skogo raionov Moskovskoi oblasti)* [Biological properties of soil for their ecological and economic assessment (using the example of Serpukhov and Podolsk districts of the Moscow region)] [Dissertation] Moscow; 2013. (In Russ.).
Гавриленко Е.Г. Биологические свойства почвы для их эколого-экономической оценки (на примере Серпуховского и Подольского районов Московской области): дис. ... канд. биол. наук. М., 2013.
33. Prévost M. Predicting Soil Properties from Organic Matter Content following Mechanical Site Preparation of Forest Soils. *Soil Science Society of America Journal*. 2004;68(3):943–949. doi: 10.2136/sssaj2004.9430
34. Breiman L. Random Forests. *Machine Learning*. 2001;45:5–32. doi: 10.1023/A:1010933404324
35. Gorelick N, Hancher M, Dixon M, Ilyushchenko S, Thau D, Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 2017;202:18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031
36. Beven KJ, Kirkby MJ. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*. 1979;24(1):43–69. doi: 10.1080/02626667909491834
37. Florinsky IV. An illustrated introduction to geomorphometry. *Electronic scientific Edition Almanac Space and Time*. 2016;11(1):18. (In Russ.).
Флоринский И.В. Иллюстрированное введение в геоморфометрию // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2016. Т. 11. № 1. С. 18.

38. Meddens AJH, Hicke JA, Vierling LA, Hudak AT. Evaluating methods to detect bark beetle-caused tree mortality using single-date and multi-date Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2013;132:49—58. doi: 10.1016/j.rse.2013.01.002

39. Tucker CJ. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1979;8(2):127—150. doi: 10.1016/0034-4257(79)90013-0

40. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2006;27(14):3025—3033. doi: 10.1080/01431160600589179

41. Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2003;24(3):583—594. doi: 10.1080/01431160304987

Об авторах:

Дворников Юрий Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент лаборатория Smart Urban Nature, агроинженерный департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, к. 2; научный сотрудник, лаборатория карбонмониторинга наземных экосистем, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, стр. 2; e-mail: ydvornikow@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3491-4487 SPIN-код: 8020-3292

Мирный Лукьян Андреевич — инженер, лаборатория карбонмониторинга наземных экосистем, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, стр. 2; e-mail: mirluk@yandex.ru

Муквич Екатерина Сергеевна — аспирант, младший научный сотрудник, лаборатория карбонмониторинга наземных экосистем, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, стр. 2; e-mail: katerinamykvitc@mail.ru

ORCID: 0009-0004-5378-8775 SPIN-код: 2640-0913

Иващенко Кристина Викторовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория карбонмониторинга наземных экосистем, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пушкино, ул. Институтская, д. 2, стр. 2; e-mail: ivashchenko.kv@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8397-158X SPIN-код: 1388-1561

About authors:

Dvornikov Yuri Aleksandrovich — Candidate of Geological and Mineralogical Science, Associate Professor, Laboratory of Smart Urban Nature, Agroengineering department, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Researcher, Laboratory of Carbon Monitoring in Terrestrial Ecosystems, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS, 2 Institutskaya st., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation; e-mail: ydvornikow@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3491-4487 SPIN-code: 8020-3292

Mirnyy Lukyan Andreevich — Engineer, laboratory of Carbon Monitoring in Terrestrial Ecosystems, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS, 2 Institutskaya st., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation; e-mail: mirluk@yandex.ru

Mukvich Ekaterina Sergeevna — PhD student, Junior Researcher, Laboratory of Carbon Monitoring in Terrestrial Ecosystems, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS, 2 Institutskaya st., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation; e-mail: katerinamykvitc@mail.ru

ORCID: 0009-0004-5378-8775 SPIN-code: 2640-0913

Ivashchenko Kristina Viktorovna — Candidate of Sciences in Biology, Senior Researcher, Laboratory of Carbon Monitoring in Terrestrial Ecosystems, Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS, 2 Institutskaya st., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation; e-mail: ivashchenko.kv@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8397-158X SPIN-code: 1388-1561



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-618-630

УДК 633.367.2

EDN AXCRTL

Научная статья / Research article

Зеленая масса сортов люпина узколистного как источник почвенного плодородия

Е.С. Лыбенко  , С.А. Емелев 

Вятский государственный агротехнологический университет, г. Киров, Российская Федерация

 elenalybenko@rambler.ru

Аннотация. Поддержание и восстановление почвенного плодородия является основой стабильности продовольственной безопасности страны. Один из эффективных приемов восстановительного сельского хозяйства — использование сидератов, лучшими из которых признаны растения семейства бобовые. В период 2022—2023 гг. в ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ изучали возможности использования ряда сортов узколистного люпина различной селекции в направлении регенеративного земледелия. Почвы участка для закладки опыта — дерново-среднеподзолистые среднесуглинистые среднеобеспеченные основными питательными элементами. Материалом для исследования стали сорта узколистного люпина Сидерат 46, Аккорд, Федоровский и Меценат, сравнение проводили с горохом посевным сорта Указ. Учетная площадь делянок 4,5 м², повторность 4-кратная, предшественник в оба года — яровые зерновые культуры. Все изучаемые сорта люпина в агроклиматических условиях Кировской области достоверно превосходили контроль по уровню урожайности зеленой массы натуральной влажности. Рост урожайности составил 50...60 % при незначительном коэффициенте вариации по годам у большинства сортов. Анализ урожайности вегетативной массы с учетом ее влажности показал, что только Аккорд (16,40 т/га) и Меценат (15,95 т/га) достоверно превосходят контроль (13,55 т/га). Основная часть продукции, полученной при уборке зеленой массы люпинов, приходится на листья (46,9 %) и стебли (43,9 %). Вариабельность по годам этих значений несущественная. Содержание сырого протеина у сортов узколистного люпина выше, чем у гороха посевного на 18...37 %, а сырой золы — на 28...40 %. По совокупности сбора сырого белка и сырой золы с единицы площади выделился сорт Меценат (2,7 и 1,31 т/га соответственно). Экологические и биологические особенности узколистного люпина сортов Аккорд, Федоровский и Меценат в агроклиматических условиях северо-востока Нечерноземной зоны России позволяют использовать их для нужд восстановительного земледелия с целью регенерации почвенного плодородия.

Ключевые слова: азотфиксирующие растения, надземная фитомасса, биохимический состав, урожайность, органическое вещество, элементы продуктивности, зернобобовые культуры

Вклад авторов: авторы внесли равнозначный вклад.

© Лыбенко Е.С., Емелев 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>

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

История статьи: поступила 1 марта 2024 г., принята к публикации 11 октября 2024 г.

Для цитирования: *Лыбенко Е.С., Емелев С.А.* Зеленая масса сортов люпина узколистного как источник почвенного плодородия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 000—000. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-000-000

Green mass of narrow-leaved lupine varieties as a source of soil fertility

Elena S. Lybenko  , Sergey A. Emelev 

Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russian Federation

 elenalybenko@rambler.ru

Abstract. The maintenance and restoration of soil fertility is the basis for the stability of the country's food security. One of the most effective methods of restorative agriculture is the use of siderates, the best of which are recognized plants of the legume family. The research was conducted at Vyatka State Agrotechnological University in 2022—2023 to study the possibility of using narrow-leaved lupine varieties of various breeding in regenerative agriculture. The soils of the experimental site are sod-medium podzolic medium loamy medium-rich in basic nutrients. The object of the study was narrow-leaved lupine varieties: Siderat 46, Akkord, Fedorovsky and Metsenat, the comparison was carried out with pea cv. Ukaz. The plots were 4.5 m², four replications were used, the forecrop in both years was spring crops. All the studied varieties of lupin in agro-climatic conditions of Kirov region significantly exceeded the control in terms of yield of green mass of natural moisture. The yield increase was 50...60% with a slight coefficient of variation over the years in most varieties. The analysis of the yield of green mass considering its humidity showed that only Akkoord (16.40 t/ha) and Metsenat (15.95 t/ha) significantly exceeded the control (13.55 t/ha). The main part of lupine green mass obtained during harvesting is leaves (46.9%) and stems (43.9%). The variability over the years of these values is insignificant. Crude protein content and crude ash content of narrow-leaved lupine varieties were higher by 18...37% and 28...40%, respectively, compared to the control (pea). Metsenat variety had the highest crude protein and crude ash content per area unit — 2.7 and 1.31 t/ha, respectively. Narrow-leaved lupine varieties — Akkord, Fedorovsky and Metsenat — can be recommended for restorative agriculture in the north-east of Non-Chernozem zone of Russia to regenerate soil fertility.

Key words: nitrogen-fixing plants, above-ground phytomass, biochemical composition, productivity, organic matter, productivity elements, leguminous crops

Authors' contribution. All authors contributed equally to the manuscript.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received: 1 March 2024; accepted: 11 October 2024.

For citation: Lybenko ES, Emelev SA. Green mass of narrow-leaved lupine varieties as a source of soil fertility. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):000—000. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-000-000

Введение

Серьезную угрозу технологической независимости страны несет ухудшение качества пахотных земель¹. Основная характеристика, определяющая ценность пашни, — ее плодородие — является результатом совокупного влияния содержания питательных веществ, типа водного режима, характера теплового режима, микробиологической активности и др. Уровень плодородия во многом определяется содержанием органического вещества. В России более трети почв относятся к слабогумусированным, а в пятой части содержание гумуса ниже минимального уровня [1, 2].

В условиях роста численности населения планеты в геометрической прогрессии увеличивается потребность в продуктах питания, в т. ч. растительного происхождения [3]. Как следствие растет степень интенсификации использования сельскохозяйственных угодий, возрастает нагрузка на единицу площади. Подобные методы ведения сельского хозяйства неизбежно приводят к деградации почв и ухудшению их качества.

Согласно сведениям Р.Р. Абдусаламова, З.М. Баламирзоева «...около 40 % сельскохозяйственных угодий в мире значительно ухудшается по качеству из-за эрозии и использования химических удобрений» [4]. В результате водной или ветровой эрозии происходит разрушение почвы и обеднение ее: потоки воды или ветра выносят из верхнего слоя частицы органического вещества. Применение больших количеств удобрений в системе интенсивного земледелия приводит к изменению свойств почв. Ряд удобрений, созданных химическим путем, являются физиологически кислыми [5]. Их внесение повышает степень кислотности, что ведет к потерям гумуса вследствие разложения гуминовых соединений.

В минеральных удобрениях (особенно в фосфорных) содержатся тяжелые металлы как естественные примеси [6]. Их присутствие в больших количествах влияет на биохимические реакции, протекающие в растениях, а также на поступление микроэлементов.

Использование искусственно созданных минеральных удобрений в больших количествах в течение длительного периода времени влияет на состав почвенных микроорганизмов [7, 8]. Длительное применение минеральных удобрений влияет на агрохимические свойства почвы и степень подвижности элементов питания [9].

Альтернатива химическим — удобрения естественного происхождения: навоз, торф, сапропель, компосты, птичий помет, а также сидераты. Однако систематическое внесение значительного количества некоторых видов отходов животного происхождения отрицательно влияет на показатели, характеризующие физико-химические свойства обрабатываемых угодий [10].

Сидераты способствуют повышению плодородия за счет большого количества зеленой массы, поступающей в почву при их заделке [11, 12], и формированию агрономически ценной структуры почвы. Выделяемые сидератами алкалоиды и фитонциды способны снижать количество вредителей и возбудителей болезней [13].

¹ Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации: утв. Указом Президента РФ от 28 февр. 2024 г. № 145. Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202402280003?index=2> (дата обращения: 29.02.2024).

В сельскохозяйственном производстве в качестве зеленых удобрений чаще всего используют растения двух семейств: капустные и бобовые. Для бобовых, наряду с рядом положительных признаков, характерных для сидератов, свойственно явление симбиотической азотфиксации, благодаря которому они, в зависимости от долголетия, способны связывать азот — от 60 до 300 кг/га в год [14, 15].

В Кировской области из растений семейства бобовые для использования в качестве зеленых удобрений применяют чаще всего горох полевой, горох посевной, вику яровую и их смеси со злаковым компонентом, а из многолетних растений — клевер луговой или клевер гибридный первого года пользования. Использование люпина ограничено в силу того, что не каждый вид однолетнего люпина способен формировать стабильный высокий урожай зеленой массы. Тем не менее узколистный люпин в условиях Нечерноземья «...может стать базовой культурой севооборота для решения проблемы восстановления плодородия почв...» [16].

В ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ с 2021 г. проводится оценка сортов узколистного люпина различной селекции. **Цель исследования** — анализ возможности использования сортов узколистного люпина для направления регенеративного земледелия.

Задачи исследований:

- оценить уровень урожайности зеленой массы натуральной влажности и в абсолютно сухом веществе;
- проанализировать структуру урожайности зеленой массы сортов узколистного люпина;
- оценить содержание сырого протеина, сырой золы в зеленой массе и определить их сбор.

Материалы и методы исследований

Материалом для исследования послужили сорта люпина узколистного: Сидерат 46 (селекции ВНИИ люпина филиала ФГБНУ «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса»), Аккорд, Федоровский, Меценат (селекции Ленинградского НИИСХ филиала ФГБНУ ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха).

Исследования проводили в 2022—2023 гг. на территории Агротехнопарка ФГБОУ ВО Вятский ГАТУ. Почвы участка дерново-среднеподзолистые со среднесуглинистым гранулометрическим составом. Обеспеченность подвижными формами фосфора и обменным калием средняя, реакция почвенной среды слабокислая. Опыт закладывали на внесевоборотном участке, предназначенном для проведения научных исследований. Предпосевная обработка почвы — типичная для региона: ранневесеннее боронование, культивация, комбинированная обработка.

Закладка опыта проведена по методике конкурсного сортоиспытания, применены общепринятые методы исследования^{2,3}. Биохимические показатели качества зеле-

² Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 197 с

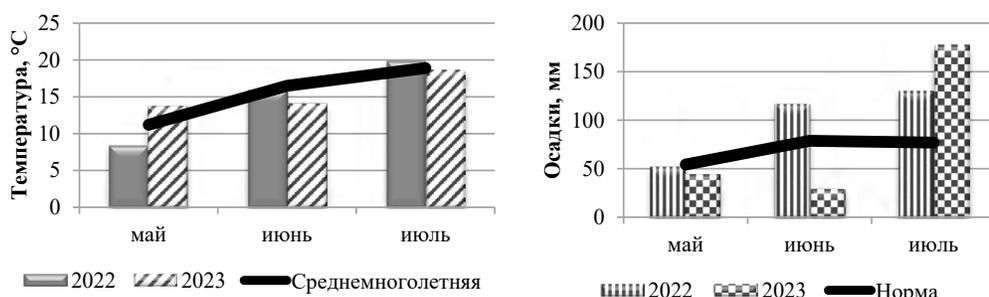
³ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. EDN ZJQBUD

ной массы проводили в аккредитованной лаборатории ООО НПП «МЕДБИОТЕХ», г. Киров согласно стандартным методикам.

Учетная площадь делянок 4,5 м², повторность 4-кратная, предшественник в оба года — яровые зерновые культуры. Посев проведен в начале второй декады мая. Способ посева рядовой с междурядьями 15 см. Норма высева 1,3 млн шт./га, глубина посева 4–5 см. Перед посевом проводили протравливание семян инсектицидом Табу, ВСК в норме 1 л/т и обработку биопрепаратом Ризолег. В качестве образца для сравнения (контроля — К) использован горох полевой Указ, так как эта культура занимает ведущее место среди однолетних сидератов Кировской области. Уборка растений на зеленую массу проведена в конце второй декады июля в фазу начала формирования бобов.

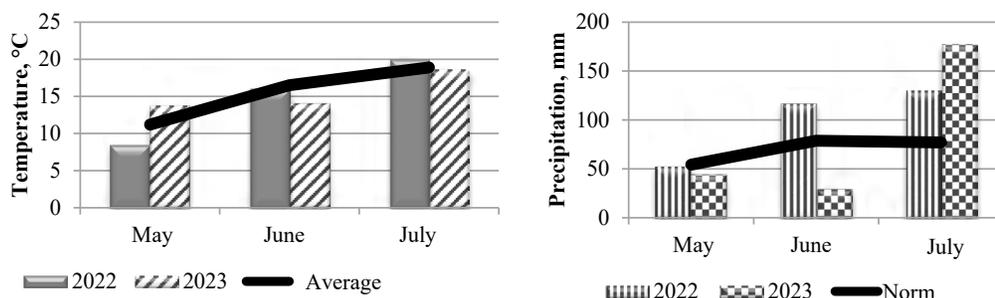
Результаты исследований и обсуждение

Вегетационный период в 2022 и 2023 гг. характеризовался как умеренно теплый с неравномерным выпадением осадков (рис.).



Метеорологические условия в период вегетации узколистного люпина в 2022–2023 гг.

Источник: выполнено Е.С. Лыбенко, С.А. Емелевым в программе Microsoft Excel 2010.



Meteorological conditions during the vegetation period of narrow-leaved lupine in 2022–2023

Source: compiled by E.S. Lybenko, S.A. Emelev in Microsoft Excel 2010.

Среднемесячная температура мая 2023 г. составила 13,9 °С, что оказалось на 1,9 °С выше обычно наблюдаемой. До оптимальной температуры посева почва прогрелась к началу второй декады. В 2022 г. средняя температура мая оказалась

ниже на 2,7 °С, весна в этот год была затяжная, почва для посева поспевала с опозданием. Количество выпавших осадков в мае 2023 г. было на 14 % меньше нормы, в 2022 г. — ей соответствовало. В июне 2022 г. количество значительно превысило норму, а июнь 2023 г. был сухим (осадков выпало на 40 % меньше нормы) и менее теплым, чем ожидалось. Зато в июле количество осадков в оба года более чем в 1,6 раза превысило средние показатели. Значения температурных характеристик июля были близки к нормативному значению.

Полевая всхожесть изучаемых вариантов — 97...98 %, что исключает возможность наличия различий по этому параметру. Средняя урожайность зеленой массы натуральной влажности сортов узколистного люпина составила 68,8 т/га, что на 59 % больше по сравнению с горохом (табл. 1). Все сорта узколистного люпина как в отдельные годы, так и в среднем за время исследований достоверно превосходили контроль по этому показателю. В среднем по годам превышение урожайности зеленой массы сортов люпина составило от 20,8 до 27,4 %.

Таблица 1

Урожайность зеленой массы натуральной влажности, т/га

Сорт	2022 г.	± к Указ	2023 г.	± к Указ	Среднее	± к Указ
Указ (К) 44,6		–	42,0	–	43,3	–
Сидерат 46	61,9	+17,3	66,3	+24,3	64,1	+20,8
Аккорд	82,8	+38,2	58,7	+16,7	70,7	+27,4
Федоровский	69,1	+24,5	71,5	+29,5	70,3	+27,0
Меценат	72,4	+27,8	67,6	+25,6	70,0	+26,7
НСР ₀₅	–	4,4	–	3,6	–	3,9

Источник: выполнено Е.С. Лыбенко, С.А. Емелевым в программе Microsoft Word 2010.

Table 1

Green mass yield of natural moisture, t/ha

Variety	2022	± to control	2023	± to control	average	± to control
Ukaz (control)	44.6	–	42.0	–	43.3	–
Siderat 46	61.9	+17.3	66.3	+24.3	64.1	+20.8
Akkord	82.8	+38.2	58.7	+16.7	70.7	+27.4
Federovsky	69.1	+24.5	71.5	+29.5	70.3	+27.0
Metsenat	72.4	+27.8	67.6	+25.6	70.0	+26.7
LSD ₀₅	–	4.4	–	3.6	–	3.9

Source: compiled by E.S. Lybenko, S.A. Emelev in Microsoft Word 2010.

Наиболее стабильный уровень у сорта Федоровский, коэффициент вариации урожайности по годам составил 2,4 %. Такой же незначительной изменчивостью характеризовались сорта Сидерат 46 и Меценат. Урожайность зеленой массы сорта Аккорд изменялась по годам от 82,8 до 58,7 т/га. Этот сорт обладает значительной

изменчивостью в условиях Кировской области по урожайности зеленой массы натуральной влажности (коэффициент вариации признака 24 %).

Влажность вегетативной массы сельскохозяйственных культур различна. Для оценки уровня урожайности в сопоставимых единицах приведены данные в пересчете на абсолютно сухое вещество (табл. 2). По урожайности зеленой массы в пересчете на абсолютно сухое вещество в 2022 и 2023 гг. отмечено достоверное превышение контроля только у сорта Аккорд. Коэффициент вариации по годам у него составлял 6 %. Превышение уровня урожайности достигало 21 %.

Таблица 2

Урожайность зеленой массы в абсолютно сухом веществе, т/га

Сорт	2022 г.	± к Указ	2023 г.	± к Указ	Среднее	± к Указ
Указ (К)	14,1	–	13,0	–	13,55	–
Сидерат 46	12,5	–1,6	11,6	–1,4	12,05	–1,5
Аккорд	17,1	+3,0	15,7	+2,7	16,40	+2,9
Федоровский	13,9	–0,2	13,9	+0,9	13,90	+0,4
Меценат	13,6	–0,5	18,3	+5,3	15,95	+2,4
НСР ₀₅	–	1,2	–	1,0	–	1,2

Источник: выполнено Е.С. Лыбенко, С.А. Емелевым в программе Microsoft Word 2010.

Table 2

Yield of absolutely dry green mass, t/ha

Variety	2022	± to control	2023	± to control	average	± to control
Ukaz (control)	14.1	–	13.0	–	13.55	–
Siderat 46	12.5	–1.6	11.6	–1.4	12.05	–1.5
Akkord	17.1	+3.0	15.7	+2.7	16.40	+2.9
Federovsky	13.9	–0.2	13.9	+0.9	13.90	+0.4
Metsenat	13.6	–0.5	18.3	+5.3	15.95	+2.4
LSD ₀₅	–	1.2	–	1.0	–	1.2

Source: compiled by E.S. Lybenko, S.A. Emelev in Microsoft Word 2010.

Показатели по урожайности зеленой массы в абсолютно сухом веществе у сорта Федоровский отличаются минимальным коэффициентом вариации (менее 1 %). В среднем урожайность этого сорта находится на уровне контроля. Значительной изменчивостью обладает сорт Меценат (коэффициент вариации 21 %). В 2022 г. его урожайность зеленой массы в абсолютно сухом веществе находилась на уровне контроля (13,6 т/га), а в 2023 г. — достоверно превышала его (18,3 т/га). Сидерат 46 по сравнению с горохом полевым Указ во все годы формировал достоверно меньше зеленой массы в пересчете на абсолютно сухое вещество (коэффициент вариации 5,7 %).

Анализируя структуру продуктивности зеленой массы (табл. 3), можно отметить, что у люпинов в среднем основная доля приходится на листья (46,9 %) и стебли (43,9 %). В условиях 2022—2023 гг. изучаемые сорта сформировали достаточно много зеленой массы, растения были развитыми, хорошо облиственными. У гороха полевого Указ основная доля приходилась на стебли (63,9 %). Объем листьев у гороха в связи с его морфологическими особенностями в два раза меньше, по сравнению с люпином.

Значительных отклонений между сортами по массе листьев не отмечено. Их доля колеблется от 42,6 до 49,3 %, установлено достоверное превышение этого показателя по отношению к контролю. Коэффициент вариации доли листьев у всех сортов незначительный (от 3,7 до 7,2 %). Наибольшей облиственностью обладают сорта Аккорд и Меценат.

Таблица 3

**Структура продуктивности зеленой массы на момент уборки
(в среднем за 2022—2023 гг.)**

Сорт	Листья, %	$V_{\text{листья}}'$ %	Бобы, %	$V_{\text{бобы}}'$ %	Стебли, %	$V_{\text{стебли}}'$ %
Указ (К)	22,5 ± 0,37	4,8	13,6 ± 0,44	9,4	63,9 ± 0,76	2,3
Сидерат 46	46,7 ± 0,72*	4,6	8,8 ± 0,39*	11,2	44,5 ± 0,71*	4,7
Аккорд	49,3 ± 0,63*	3,7	7,5 ± 0,34*	11,6	43,2 ± 0,81*	5,6
Федоровский	42,6 ± 0,42*	3,9	9,3 ± 0,62*	6,1	48,1 ± 0,51*	2,9
Меценат	48,9 ± 0,74*	7,2	11,2 ± 0,42*	5,7	39,9 ± 0,47*	4,9
В среднем по люпинам	46,9 ± 1,53*	6,6	9,2 ± 0,77*	16,7	43,9 ± 1,69*	7,7

Примечание. * – $p \geq 0,95$.

Источник: выполнено Е.С. Лыбенко, С.А. Емелевым в программе Microsoft Word 2010.

Table 3

Structure of green mass productivity at harvest time (average for 2022–2023)

Variety	Leaves, %	V_{leaves}' %	Seeds, %	V_{seeds}' %	Stems, %	V_{stems}' %
Ukaz (control)	22.5 ± 0.37	4.8	13.6 ± 0.44	9.4	63.9 ± 0.76	2.3
Siderat 46	46.7 ± 0.72*	4.6	8.8 ± 0.39*	11.2	44.5 ± 0.71*	4.7
Akkord	49.3 ± 0.63*	3.7	7.5 ± 0.34*	11.6	43.2 ± 0.81*	5.6
Federovsky	42.6 ± 0.42*	3.9	9.3 ± 0.62*	6.1	48.1 ± 0.51*	2.9
Metsenat	48.9 ± 0.74*	7.2	11.2 ± 0.42*	5.7	39.9 ± 0.47*	4.9
Average	46.9 ± 1.53*	6.6	9.2 ± 0.77*	16.7	43.9 ± 1.69*	7.7

Note. * – $p \geq 0.95$.

Source: compiled by E.S. Lybenko, S.A. Emelev in Microsoft Word 2010.

Доля бобов в общей массе зеленой продукции у гороха составляла 13,6 %. У люпинов к моменту уборки этот показатель был достоверно ниже контроля — от 7,5 до 11,2 %, а среднее значение по ним составило 9,2 %. Наиболее близко к контролю по объему бобов оказался сорт Меценат (11,2 %).

Длина стеблей люпина к моменту уборки достигала 53...63 см. Процент стеблей в общем урожае зеленой массы оказался выше у гороха посевного (63,9 %). У люпинов их доля отличается незначительной вариабельностью (2,3...5,6 %). Наибольший процент стеблей отмечен у сорта Федоровский (48,1 %), наименьший — у сорта Меценат (39,9 %).

Анализируя качественные характеристики зеленой массы (табл. 4 и 5), можно отметить, что сорта люпина узколистного отличаются повышенным содержанием сырого протеина (в среднем на 26 %). У большинства сортов зернобобовых культур его значения в 2022 г. (на 7...10 п.п.) были выше, чем в 2023 г. Более высоким содержанием сырого протеина отличаются сорта Федоровский (18,3 %) и Меценат (17,1 %), что превышает значение контроля на 37 и 28 п.п. соответственно.

Таблица 4

Содержание сырого протеина и сбор белка

Сорт	Содержание сырого протеина, %			Сбор белка, т/га		
	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	Среднее
Указ (К)	13,7	12,8	13,3 ± 0,45	1,90	1,70	1,80 ± 0,10
Сидерат 46	16,6	15,4	16,0 ± 0,60*	2,10	1,80	1,95 ± 0,15
Аккорд	17,0	14,5	15,8 ± 1,25*	2,90	2,30	2,60 ± 0,30*
Федоровский	18,1	18,4	18,3 ± 0,15*	2,50	2,60	2,55 ± 0,05*
Меценат	17,7	16,4	17,1 ± 0,65*	2,40	3,00	2,70 ± 0,30*

Примечание. * — $p \geq 0,95$.

Источник: выполнено Е.С. Лыбенко, С.А. Емелевым в программе Microsoft Word 2010.

Table 4

Crude protein content and protein yield

Variety	Crude protein content, %			Protein yield, t/ha		
	2022	2023	Average	2022	2023	Average
Ukaz (control)	13.7	12.8	13.3 ± 0.45	1.90	1.70	1.80 ± 0.10
Siderat 46	16.6	15.4	16.0 ± 0.60*	2.10	1.80	1.95 ± 0.15
Akkord	17.0	14.5	15.8 ± 1.25*	2.90	2.30	2.60 ± 0.30*
Federovsky	18.1	18.4	18.3 ± 0.15*	2.50	2.60	2.55 ± 0.05*
Metsenat	17.7	16.4	17.1 ± 0.65*	2.40	3.00	2.70 ± 0.30*

Note. * — $p \geq 0.95$.

Source: compiled by E.S. Lybenko, S.A. Emelev in Microsoft Word 2010.

Сбор белка с единицы площади зависит от урожайности зеленой массы и содержания в ней сырого протеина. В 2022 г. значительно выделился по этому показателю сорт Аккорд (2,9 т/га), а в 2023 г. — сорт Меценат (3,0 т/га), что превышает показатели контроля на 50 п.п. В среднем за 2022—2023 гг. по сбору белка сорта узколистного люпина превышали контроль на 40 п.п. и более. Исключением стал сорт Сидерат 46, значение показателя которого находилось примерно на уровне контроля (1,95 т/га) и превысило его всего на 8 п.п.

Таблица 5

Содержание сырой золы и ее сбор

Сорт	Содержание сырой золы, %			Сбор сырой золы, т/га		
	2022 г.	2023 г.	Среднее	2022 г.	2023 г.	Среднее
Указ (К)	6,3	5,5	5,9 ± 0,40	0,89	0,72	0,80 ± 0,09
Сидерат 46	7,6	7,5	7,6 ± 0,05*	0,92	0,88	0,90 ± 0,02
Аккорд	7,6	8,6	8,1 ± 0,50*	1,30	1,35	1,32 ± 0,03*
Федоровский	7,3	8,0	7,7 ± 0,35*	1,02	1,11	1,07 ± 0,05*
Меценат	7,6	8,9	8,3 ± 0,65*	0,99	1,63	1,31 ± 0,32*

Примечание. * – $p \geq 0,95$.

Источник: выполнено Е.С. Лыбенко, С.А. Емелевым в программе Microsoft Word 2010.

Table 5

Raw ash content and yield

Variety	Raw ash content, %			Raw ash yield, t/ha		
	2022	2023	Average	2022	2023	Average
Ukaz (control)	6.3	5.5	5.9 ± 0.40	0.89	0.72	0.80 ± 0.09
Siderat 46	7.6	7.5	7.6 ± 0.05*	0.92	0.88	0.90 ± 0.02
Akkord	7.6	8.6	8.1 ± 0.50*	1.30	1.35	1.32 ± 0.03*
Federovsky	7.3	8.0	7.7 ± 0.35*	1.02	1.11	1.07 ± 0.05*
Metsenat	7.6	8.9	8.3 ± 0.65*	0.99	1.63	1.31 ± 0.32*

Note. * – $p \geq 0.95$.

Source: compiled by E.S. Lybenko, S.A. Emelev in Microsoft Word 2010.

Содержание сырой золы у контрольного сорта Указ составило в среднем 5,9%; в 2022 г. — 6,3, в 2023 г. — 5,5 %. У сортов узколистного люпина не наблюдалось тенденции к уменьшению этого показателя по годам. Больше всего сырой золы сформировалось у сорта Меценат (8,3 %) и Аккорд (8,1 %), что на 39 и 37 п.п. соответственно больше контроля. Эти же сорта следует выделить и по сбору сырой золы, получаемой с зеленой массы (1,31 и 1,32 т/га соответственно).

Заключение

В почвенно-климатических условиях Кировской области урожайность зеленой массы натуральной влажности рассматриваемых сортов люпина узколистного достоверно превосходит показатели контроля на 21...27 т/га в среднем. У большинства сортов варибельность этого признака незначительная (2,5...5 %). При учете урожайности в абсолютно сухом веществе установлено, что только два сорта (Аккорд и Меценат) отличаются достоверно большим ее уровнем. Более стабильной урожайностью в пересчете на абсолютно сухое вещество обладает сорт Меценат. Существенных отличий между сортами люпина по доле элементов структуры продуктивности не отмечено. У гороха посевного, используемого в качестве контроля, зеленую массу в основном составляют стебли. В структуре продуктивности люпинов, определяемой на момент уборки, основная доля приходится на листья и стебли, в совокупности они занимают 90,8 %. Эти элементы характеризуются незначительной степенью вариации. Доля бобов варьирует в средней степени, на них приходится от 8,8 до 11,2 %. По содержанию сырого протеина сорта узколистного люпина превосходят горох посевной на 18...37 %, а по содержанию сырой золы — на 28...40 %. Лидером по сбору сырого белка и сырой золы с единицы площади является сорт Меценат (2,7 и 1,31 т/га соответственно). Благодаря экологическим и биологическим особенностям узколистного люпина сортов Аккорд, Федоровский и Меценат в агроклиматических условиях северо-востока Нечерноземной зоны России возможно использовать их для нужд восстановительного земледелия с целью регенерации почвенного плодородия.

Список литературы

1. Гогмачадзе Г.Д., Гогмачадзе Л.Г. О некоторых результатах агроэкологического мониторинга почв и земельных ресурсов Российской Федерации в 2019 году // АгроЭкоИнфо. 2021. № 4. Режим доступа: https://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_410.pdf. Дата обращения: 21.02.24.
2. Минаков И.А. Проблемы использования земель сельскохозяйственного назначения // Наука и образование. 2021. Т. 4. № 1. Режим доступа: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/2856> Дата обращения: 17.01.24.
3. Ростиашвили Я.Р., Хачатурова Э.Э. Роль продовольственной проблемы в мировой экономике // Управленческий учет. 2022. № 3–3. С. 661—667.
4. Абдусаламова Р.Р., Баламирзоева З.М. Деградация почв и ее последствия // Вестник Социально-педагогического института. 2022. № 2 (42). С. 31—36.
5. Жамалова Д.Б. Особенности применения минеральных удобрений // Актуальные проблемы АПК и инновационные пути их решения: материалы междунар. науч.-практ. конф. Курган, 2021. С. 43—47.
6. Шабанова И.В. Влияние минеральных удобрений на баланс тяжелых металлов в почве и зерне озимой пшеницы // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год : материалы юбилейной науч.-практ. конф. Краснодар, 2022. С. 57—59.
7. Geisseler D., Scow K.M. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms — A review // Soil Biology and Biochemistry. 2014. Vol. 75. P. 54—63. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.03.023
8. Bai Y.C., Chang Y.Y., Hussain M., Lu B., Zhang J.P., Song X.B., Lei X.S., Pei D. Soil chemical and microbiological properties are changed by long-term chemical fertilizers that limit ecosystem functioning // Microorganisms. 2020. Vol. 8. № 5. P. 694. doi: 10.3390/microorganisms8050694
9. Burdukovskii M.L., Golov V.I., Kovshik I.G. Changes in the agrochemical properties of major arable soils in the south of the Far East of Russia under the impact of their long-term agricultural use // Eurasian soil science. 2016. Vol. 49. P. 1174—1179. doi: 10.1134/S1064229316100057

10. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Ашихмина Т.Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 3. С. 219—225. doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225
11. Kokonov S.I., Ryabova T.N., Babaytseva T.A., Yastrebova A.V. Agrobiological evaluation of narrow-leaved lupin varieties in the conditions of the Middle Urals // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. Vol. 949. № 1. doi: 10.1088/1755-1315/949/1/012117
12. Агеева П.А., Матюхина М.В., Почутина Н.А., Громова О.М. Результаты и перспективы селекции сидеральных сортов узколистного люпина во Всероссийском научно-исследовательском институте люпина // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2(34). С. 59—63. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11170
13. Hama J.R., Strobel B.W. Natural alkaloids from narrow-leaf and yellow lupins transfer to soil and soil solution in agricultural fields // Environmental Sciences Europe. 2020. Vol. 32. P. 1—12. doi: 10.1186/s12302-020-00405-7
14. Миррахмедов Ф.Ш., Мирхомидова Н.А., Мирхомидова Г.М., Рахимов А.Д., Кодиров А.Ш. Размеры накопления биологически связанного азота бобовыми растениями // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 12—1. С. 129—131.
15. Katroschan K.U., Stützel H. Narrow-leaved lupine as an N source alternative to grass-clover swards in organic vegetable rotations // Biological Agriculture & Horticulture. 2017. Vol. 33. № 2. P. 125—142. doi: 10.1080/01448765.2017.1285250
16. Коннова Л.В., Агеева П.А. Люпин как главный биологический потенциал Юго-Западного Нечерноземья // Селекция и сорторазведение садовых культур. 2022. Т. 9. № 1. С. 51—58. doi: 10.24411/25000454_2022_0110

References

1. Gogmachadze GD, Gogmachadze LG. On some results of agroecological monitoring of soils and land resources of the Russian Federation in 2019. *AgroEcoInfo*. 2021;(4):17. (In Russ.). doi: 10.51419/20214410
2. Minakov IA. Problems of land use for agricultural purposes. *The Education and Science Journal*. 2021;4(1):253. (In Russ.).
3. Rostiashvili YR, Khachaturova EE. The role of the food problem in the global economy. *Management Accounting*. 2022;(3—3):661—667. (In Russ.). doi: 10.25806/uu3-32022650-660
4. Abdusalamova RR, Balamirzoeva ZM. Soil degradation and its consequences. *Bulletin of the Socio-pedagogical institute*. 2022;(2):31—36. (In Russ.).
5. Zhamalova DB. Features of the use of mineral fertilizers. In: *Actual problems of the agro-industrial complex and innovative solutions: conference proceedings*. Kurgan; 2021. p.43—47. (In Russ.).
6. Shabanova IV. The effect of mineral fertilizers on the balance of heavy metals in the soil and grain of winter wheat. In: *Results of research work for 2021: conference proceedings*. Krasnodar; 2022. p.57—59. (In Russ.).
7. Geisseler D, Scow KM. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms — A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 2014;75:54—63. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.03.023
8. Bai YC, Chang YY, Hussain M, Lu B, Zhang JP, Song XB, et al. Soil chemical and microbiological properties are changed by long-term chemical fertilizers that limit ecosystem functioning. *Microorganisms*. 2020;8(5):694. doi: 10.3390/microorganisms8050694
9. Burdukovskii ML, Golov VI, Kovshik IG. Changes in the agrochemical properties of major arable soils in the south of the Far East of Russia under the impact of their long-term agricultural use. *Eurasian soil science*. 2016;49:1174—1179. doi: 10.1134/S1064229316100057
10. Syrchina NV, Pilip LV, Ashikhmina TY. Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste. *Theoretical and Applied Ecology*. 2022;(3):219—225. (In Russ.). doi: 10.25750/1995-4301-2022-3-219-225
11. Kokonov SI, Ryabova TN, Babaytseva TA, Yastrebova AV. Agrobiological evaluation of narrow-leaved lupin varieties in the conditions of the Middle Urals. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 2022;949(1):012117. doi: 10.1088/1755-1315/949/1/012117
12. Ageeva PA, Matyukhina MV, Pochutina NA, Gromova OM. Results and outlook of breeding of sideral narrow-leaved lupin varieties in the Russian lupin research institute. *Legumes and goat crops*. 2020;(2):59—63. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11170
13. Hama JR, Strobel BW. Natural alkaloids from narrow-leaf and yellow lupins transfer to soil and soil solution in agricultural fields. *Environmental Sciences Europe*. 2020;32:126. doi: 10.1186/s12302-020-00405-7
14. Mirakhmedov FS, Mirkhomidova NA, Mirkhomidova GM, Rakhimov AD, Kodirov AS. The extent of accumulation of biologically bound nitrogen by leguminous plants. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. 2016;(12—1):129—131. (In Russ.).

15. Katroschan KU, Stützel H. Narrow-leaved lupine as an N source alternative to grass-clover swards in organic vegetable rotations. *Biological Agriculture & Horticulture*. 2017;33(2):125–142. doi: 10.1080/01448765.2017.1285250

16. Konnova LV, Ageeva PA. Lupin as an important biological potential of the south-west non-chernozem. *Breeding and variety cultivation of fruit and berry crops*. 2022;9(1):51–58. (In Russ.). doi: 10.24411/25000454_2022_0110

Об авторах:

Лыбенко Елена Сергеевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры общего земледелия и растениеводства, агрономический факультет, Вятский государственный агротехнологический университет, Российская Федерация, 610017, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133; e-mail: elenalybenko@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-8853-1903 SPIN-код: 3688-0476

Емелев Сергей Александрович — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии, агрономический факультет, Вятский государственный агротехнологический университет, Российская Федерация, 610017, г. Киров, Октябрьский проспект, д. 133; e-mail: emeleffsergej@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-4178-051X SPIN-код: 4903-7819

About authors:

Lybenko Elena Sergeevna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of General Agriculture and Crop Production, Faculty of Agronomy, Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrsky ave., Kirov, 610017, Russian Federation; e-mail: elenalybenko@rambler.ru
ORCID: 0000-0001-8853-1903 SPIN-code: 3688-0476

Emelev Sergey Aleksandrovich — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Plant Biology, Breeding and Seed Production, Microbiology; Vyatka State Agrotechnological University, 133 Oktyabrsky ave., Kirov, 610017, Russian Federation; e-mail: emeleffsergej@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-4178-051X SPIN-code: 4903-7819



Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-631-640

УДК 631.67.03

EDN BCIIAN

Научная статья / Research article

Мелиоративная оценка пригодности поверхностных вод водозаборной зоны Береславского водохранилища для орошения

А.Е. Новиков^{1,2}  , А.Ю. Торопов¹ , А.А. Поддубский³ ,
М.В. Московец¹ , Р.В. Збукарев¹ 

¹ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Волгоград,
Российская Федерация

²Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская
Федерация

³Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 ae_novikov@mail.ru

Аннотация. Цель исследования — оценить по итогам проводимого мониторинга пригодность поверхностных вод водозаборной зоны Береславского водохранилища для орошения. За период вегетации культур минерализация воды изменялась от 0,998 до 1,601 г/дм³. По А.Н. Костякову вода характеризуется как слабоминерализованная и относится преимущественно к III группе. По О.А. Алекину вода на начало и конец вегетационного периода классифицируется как натриевая сульфатно-хлоридного класса, в июле и августе химизм воды сменяется на сульфатный класс магниево-натриевой группы. В наблюдениях за сезонными изменениями основных компонентов минерального состава воды относительно их предельно-

© Новиков А.Е., Торопов А.Ю., Поддубский А.А., Московец М.В., Збукарев Р.В., 2024



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

допустимых концентраций отмечено превышение аниона сульфата в мае и августе соответственно на 7 и 91 мг/дм³, а в июле — почти в 1,5 раза. В катионном ряду основными загрязнителями были натрий (в комплексе с калием) — его наибольшая концентрация в мае 299 мг/дм³ снизилась в июле до предельно допустимого значения, а также магний, концентрация которого в июле превысила норматив на 28 мг/дм³. По концентрации хлоридов и сульфатов натрия поливная вода удовлетворительного качества. Фактические значения показателей минерального состава воды и расчетные значения ирригационных коэффициентов с учетом изменчивости химического состава воды во времени свидетельствуют о ее возможном негативном воздействии на ионное равновесие в почвенном поглощающем комплексе. Сделан вывод о необходимости разработать и регулярно проводить агротехнические и агромелиоративные мероприятия по предупреждению процессов засоления для сохранения мелиоративного состояния почв.

Ключевые слова: качество воды, ионный состав, минерализация, ирригационная оценка, влияние на почву, засоление почв

Вклад авторов: все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения государственного задания FNFR-2022-0003.

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

История статьи: поступила 11 ноября 2024 г., принята к публикации 11 декабря 2024 г.

Для цитирования: Новиков А.Е., Торопов А.Ю., Поддубский А.А., Московец М.В., Збукарев Р.В. Мелиоративная оценка пригодности поверхностных вод водозаборной зоны Береславского водохранилища для орошения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 631—640. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-631-640

Suitability and assessment of surface water in the Bereslav reservoir water-intake zone for irrigation purpose

Andrey E. Novikov^{1,2}  , Aleksey Y. Toropov¹ , Anton A. Poddubsky³ ,
Maria V. Moskovets¹ , Roman V. Zbukarev¹ 

¹Russian Research Institute of Irrigated Agriculture — Branch of the Federal Research Center of Hydroengineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov, *Volgograd, Russian Federation*

²Volgograd State Technical University, *Volgograd, Russian Federation*

³RUDN University, *Moscow, Russian Federation*

 ae_novikov@mail.ru

Abstract. The aim of the study was to monitor and assess the suitability of surface water in the intake area of the Bereslav Reservoir for irrigation. During the growing season, water mineralization varied from 0.998 to 1.601 g·dm⁻³. According to Kostyakov A.N., the water is characterized as slightly mineralized and belongs mainly to group III. According to Alekin O.A., water at the beginning and end of the growing season is classified as sodium sulfate-chloride class; in July and August, the water chemistry changes to sulfate class of magnesium-sodium group. Observations of seasonal changes in the main components of mineral composition of water relative to their maximum permissible concentrations revealed an excess of sulfate anion in May and August by 7 and 91 mg·dm⁻³, respectively, and in July — almost 1.5 times. In the cation series, the main pollutants

were sodium (in combination with potassium), its highest concentration in May was $299 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, in July it decreased to the maximum permissible value, as well as magnesium, concentration of which in July exceeded the standard by $28 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. In terms of concentration of sodium chlorides and sulfates, the irrigation water is of satisfactory quality. Actual values of mineral composition of the water and calculated values of irrigation coefficients, considering variability of chemical composition of the water over time, indicate its possible negative impact on ionic equilibrium in soil absorption complex. As a result, in order to maintain ameliorative state of the soils, it is necessary to develop and regularly carry out agrotechnical and agroameliorative measures to prevent salinization processes.

Keywords: water quality, ionic composition, mineralization, irrigation assessment, impact on soil, soil salinization

Authors' contribution. All authors planned the experiments, performed the experiments, analysed the data, made an equivalent contribution to the preparation of the manuscript.

Funding. The research was prepared as part of the state assignment FNFR-2022–0003.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 11 November 2024; accepted 11 December 2024.

For citation: Novikov AE, Toropov AY, Poddubsky AA, Moskovets MV, Zbukarev RV. Suitability and assessment of surface water in the Bereslav reservoir water-intake zone for irrigation purpose. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):631–640. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-631-640

Введение

Хозяйственная деятельность и факторы окружающей среды оказывают существенное влияние на ионный состав водотоков, гидрохимический режим и качество поверхностных вод. Возникающие вследствие этого процессы химической и биологической трансформации водных объектов определяют вид водопользования [1, 2].

По имеющимся многолетним данным происходит регулярное загрязнение поверхностных вод биогенными элементами, тяжелыми металлами, а также другими загрязняющими веществами антропогенного происхождения, фактические концентрации которых превышают предельно допустимые концентрации для открытых водоемов [3, 4]. Поэтому все природные воды характеризуются многокомпонентным составом, что обуславливает их классификацию по совокупности допустимых значений содержания химических элементов, в пределах которых рекомендуется использование водного объекта.

Один из важных показателей качества воды — минеральный состав, в частности ионы 1-й группы (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), определяющие ее водно-солевой баланс и минерализацию. Сезонная концентрация этих ионов подвержена изменениям и показатели компонентного состава воды сильно варьируют в зависимости от геологических и климатических условий, что и создает проблемы для заинтересованных водопользователей [5].

В этой связи оценка качества природных вод, используемых для орошения, является важной задачей мониторинга мелиоративного состояния почв.

Цель исследования — мониторинг и оценка пригодности поверхностных вод водозаборной зоны Береславского водохранилища для орошения.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования были воды Береславского водохранилища. Пробы воды отбирали ежемесячно с мая по сентябрь 2023 г. с глубины 0,30...0,35 м в чистые пластиковые бутылки, предварительно ополоснутые в исследуемой воде. Исследование образцов воды проводили в испытательной лаборатории ВНИИОЗ с использованием известных методик (табл. 1).

Таблица 1

Методики исследования ионно-солевого состава образцов воды

Показатель	Методика исследования
Карбонаты CO_3^{2-} и гидрокарбонаты HCO_3^-	Титриметрический ¹
Хлорид-ион Cl^-	Титриметрический ²
Сульфат-ион SO_4^{2-}	Титриметрический ³
Кальций Ca^{2+} и магний Mg^{2+} в комплексе	Комплексонометрическое титрование ⁴
Натрий Na^+ и калий K^+ в комплексе	Пламенно-фотометрический ⁵

Для классификации воды применяли методику О.А. Алекина⁶: классы по преобладающему аниону, %-экв: гидрокарбонатный ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$), сульфатный (SO_4^{2-}) и хлоридный (Cl^-); группы по преобладающему катиону, %-экв: кальциевая, магниевая и натриевая; типы по соотношению между ионами, мг-экв/дм³.

Ионно-солевой состав воды выражали по формуле М.Г. Курлова в общем виде⁷:

$$S_p, M \frac{\overline{\text{анионы}}}{\overline{\text{катионы}}} \text{pH, } T, D,$$

где S_p — микроэлементы (As, Fe, F и др.) и свободные газы (CO_2 , H_2S , N_2 и др.), мг/дм³; M — общая минерализация воды, г/дм³; в числителе и знаменателе —

¹ ГОСТ 31957—2012. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с.

² ПНДФ 14.1:2.96—97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод аргентометрическим методом. Утв. 21.03.1997. М., 1997. 19 с.

³ ПНДФ 14.1:2.107—97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций сульфатов в пробах природных и очищенных сточных вод титрованием солью бария в присутствии ортанилового К. Утв. 21.03.1997. М., 1997. 17 с.

⁴ ГОСТ 31954—2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.

⁵ РД 52.24.391—2008. Массовая концентрация натрия и калия в водах. Методика выполнения измерений пламенно-фотометрическим методом. Утв. 04.06.2008. Ростов-на-Дону, 2008. 28 с.

⁶ Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1970. 444 с.

⁷ Резников А.А., Муликовская Е.П., Соколов И.Ю. Методы анализа природных вод. М.: Недра, 1970. 488 с.

соответственно анионы и катионы в порядке убывания с содержанием не менее 5 %-экв; рН — показатель активности катионов водорода, ед.; T — температура воды, °C; D — дебит (расход) воды, м³/сут.

Качество воды для орошения оценивали по ее общей минерализации (табл. 2), а также значениям ирригационных коэффициентов, учитывающих содержание хлоридов и сульфатов натрия K_i ($> 18,0$ — хорошее; $18,0 \dots 6,0$ — удовлетворительное; $5,9 \dots 1,2$ — неудовлетворительное; $< 1,2$ — непригодное для орошения), вероятность натриевого K_{Na} и магниевое K_{Mg} осолонцевания почвы ($> 1,0$ — есть опасность, $< 1,0$ — нет опасности).

Таблица 2

Оценка качества воды по А.Н. Костякову⁸

Группа	I	II	III	IV
Минерализация, г/л	< 0,4	0,4...1,0	1,0...3,0	> 3,0
Качество воды	Хорошее	Ограниченное применение	Опасна для растений	Засоление почвы

Ирригационные коэффициенты рассчитывали по формулам [6, 7]:

$$K_i = \frac{288}{(5 \cdot [Cl^-])} \text{ при } [Na^+] < [Cl^-];$$

$$K_i = \frac{288}{(Na^+ + 4 \cdot [Cl^-])} \text{ при } [Cl^-] + [SO_4^{2-}] > [Na^+] > [Cl^-];$$

$$K_i = \frac{288}{(10 \cdot [Na^+] - 5 \cdot [Cl^-] - 9 \cdot [SO_4^{2-}])} \text{ при } [Na^+] > [Cl^-] + [SO_4^{2-}];$$

$$K_{Na} = \frac{[Na^+]}{[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]};$$

$$K_{Mg} = \frac{[Mg^{2+}]}{[Ca^{2+}]}.$$

Результаты исследования и обсуждение

Результаты проведенных исследований ионно-солевого состава образцов воды приведены в виде графиков (рис. 1) [8], которые иллюстрируют динамику анионов и катионов минерального состава по месяцам вегетационного периода.

В частности, отмечены рост ионов сульфата и магния, резкое падение в летние месяцы концентрации ионов натрия, что обусловило выбор методик для оценки влияния этих макрокомпонентов на качество подаваемой для орошения воды. Стоит отметить, что рост Mg^{2+} в природной воде является негативным признаком, поскольку он относится к токсичным элементам для растений. Более того

⁸ Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Сельхозиздат, 1960. 150 с.

увеличение содержания катиона магния ведет к повышению гидратированности и листовой части почвы.

В течение вегетационного периода минерализация природной воды в зоне водозабора изменялась в диапазоне от 0,998 до 1,601 г/дм³. Максимальные значения минерализации наблюдали в июле, немногим ниже этот показатель был в мае. По А.Н. Костякову, вода характеризуется как слабоминерализованная и относится преимущественно к III группе, представляя опасность при использовании для орошения сельскохозяйственных культур. По О.А. Алекину, вода на начало и конец поливного сезона классифицируется как натриевая сульфатно-хлоридного класса, в июле и августе химизм воды сменяется на сульфатный класс магниево-натриевой группы (табл. 3).

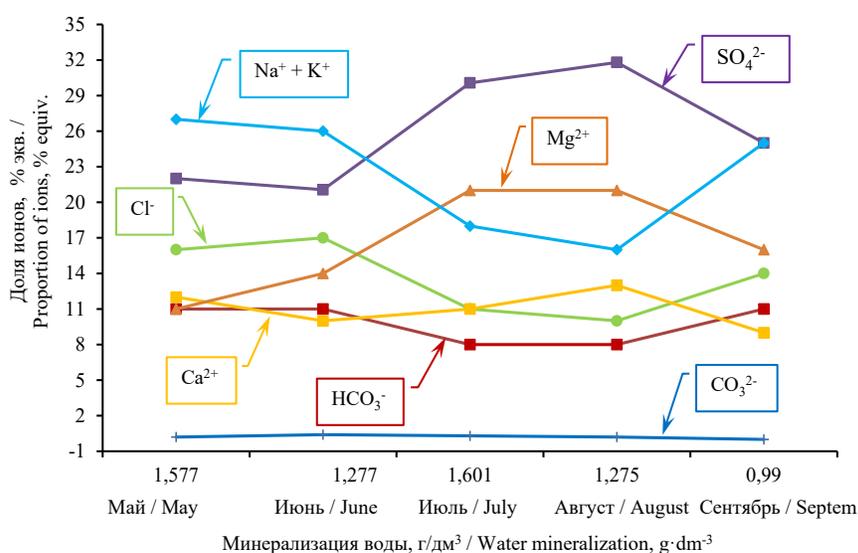


Рис. 1. Динамика водно-солевого состава воды

Источник: выполнили А.Е. Новиков, А.Ю. Торопов с помощью MS Excel, MS Word.

Таблица 3

Характеристика природной воды в зоне водозабора по месяцам вегетационного периода

Месяц	Ионно-солевой состав воды по М.Г. Курлову	Классификация воды	
		по А.Н. Костякову	по О.А. Алекину
Май	$M_{1,577} \frac{SO_4 44Cl 32HCO_3 22}{Na 54Ca 24Mg 22} T_{19,6pH 8,2}$	III	Сульфатно-хлоридный класс, натриевая группа
Июнь	$M_{1,277} \frac{SO_4 42Cl 34HCO_3 22}{Na 52Mg 28Ca 20} T_{22,4pH 8,7}$	III	
Июль	$M_{1,601} \frac{SO_4 60Cl 22HCO_3 16}{Mg 43Na 35Ca 22} T_{25,9pH 8,8}$	III	Сульфатный класс, магниево-натриевая группы
Август	$M_{1,275} \frac{SO_4 64Cl 20HCO_3 16}{Mg 40Na 31Ca 29} T_{23,2pH 8,5}$	III	
Сентябрь	$M_{0,998} \frac{SO_4 50Cl 28HCO_3 20}{Na 50Mg 32Ca 18} T_{18,7pH 8,3}$	II	Сульфатно-хлоридный класс, натриевая группа

Источник: выполнили А.Е. Новиков, А.Ю. Торопов с помощью MS Word.

В наблюдениях за сезонными изменениями основных компонентов минерального состава воды (табл. 4) относительно их предельно-допустимых концентраций (для водоемов рыбохозяйственного значения, ПДК_{рх}) отмечено превышение аниона сульфата в мае и августе соответственно на 7 и 91 мг/дм³, а в июле — почти в 1,5 раза (715 мг/дм³ против 500 мг/дм³).

В катионном ряду основными загрязнителями были натрий (в комплексе с калием), его наибольшая концентрация 299 мг/дм³ отмечена в мае, в июле снизилась практически до ПДК_{рх} (202 мг/дм³ против 200 мг/дм³), а также магний, концентрация которого в июле превысила ПДК_{рх} на 28 мг/дм³. Резкое увеличение содержания ионов сульфата и магния в июле могло быть вызвано уменьшением водности водозаборной зоны водохранилища за счет изменения гидрологического режима питания, высокими температурами воздуха и отсутствием атмосферных осадков. Подтверждением такому выводу служат более ранние результаты исследования качества воды в природных водоисточниках на рассматриваемой территории орошаемого земледелия [9, 10].

В целом изменчивость минерализации воды, с одной стороны, связана с поступающими объемами донской воды, закачиваемыми насосными станциями для поддержания режимов судоходства, и зависит от интенсивности навигации. Другим не менее важным источником, повышающим минерализацию в зоне водозабора Береславского водохранилища, является имеющий с ним границы водораздела ерик Песчаный с концентрацией солей в воде 3500...4900 мг/дм³ [11, 12].

Выполненные расчеты ирригационных коэффициентов (рис. 2) с учетом изменчивости химического состава воды во времени (табл. 4) также свидетельствуют о ее возможном негативном воздействии на ионное равновесие в почвенном поглощающем комплексе и мелиоративное состояние почв в целом [13—15].

Таблица 4

Химический состав природной воды в зоне водозабора по месяцам вегетационного периода

Ионны	Среднее	Месяц					ПДК _{рх} ⁹ , мг/дм ³
		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
CO ₃ ²⁻	3,2 0,10	4,0 0,13	5,0 0,16	5,0 0,16	2,0 0,06	–	100
HCO ₃ ⁻	243,2 3,98	320,0 5,24	263,0 4,31	239,0 3,91	193,0 3,16	201,0 3,29	1000
Cl ⁻	198,6 5,60	273,0 7,71	231,0 6,52	202,0 5,70	138,0 3,89	149,0 4,20	350

⁹ Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (в ред. Приказов Минсельхоза России от 12.10.2018 г. № 454, от 10.03.2020 г. № 118, от 22.08.2023 г. № 687).

Ионны	Среднее	Месяц					ПДК _{рх} ⁹ , мг/дм ³
		Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
SO ₄ ²⁻	<u>513,4</u> 10,67	<u>507,0</u> 10,55	<u>401,0</u> 8,31	<u>715,0</u> 14,88	<u>591,0</u> 12,29	<u>353,0</u> 7,34	500
Ca ²⁺	<u>96,0</u> 4,45	<u>110,0</u> 5,48	<u>85,0</u> 3,99	<u>110,0</u> 5,39	<u>120,0</u> 5,88	<u>55,0</u> 2,74	200
Mg ²⁺	<u>81,2</u> 6,67	<u>64,0</u> 5,26	<u>64,0</u> 5,26	<u>128,0</u> 10,53	<u>92,0</u> 7,57	<u>58,0</u> 4,77	100
Na ⁺ + K ⁺	<u>208,0</u> 9,04	<u>299,0</u> 13,0	<u>228,0</u> 9,91	<u>202,0</u> 8,78	<u>139,0</u> 6,04	<u>172,0</u> 7,47	200

Примечание. Над чертой – мг/дм³, под чертой – мг-экв/дм³.

Источник: А.Е. Новиков, А.Ю. Торопов с помощью MS Word.

В частности, поливы водой с минеральным составом, сформированным в период весеннего половодья (май), начала биологического лета (июнь) и окончания вегетации культур (сентябрь), способствуют вымыванию катионов кальция и магния из коллоидной фазы в почвенный раствор и развитию натриевого осолонцевания. В июле и августе возрастают риски магниевое осолонцевания почвы, сопровождающиеся ухудшением ее водно-физических и фильтрационных свойств. Сложившийся в наблюдаемый период тип засоления природной воды (сочетание Mg²⁺ с Na⁺) в водоисточнике ведет к развитию специфического осолонцевания почв, в основе которого развиваются процессы трансформации из геля в состояние золя почвенных коллоидов и литогенез мелкодисперсной минеральной части при вермикулитизации гидрослюдистого материала.

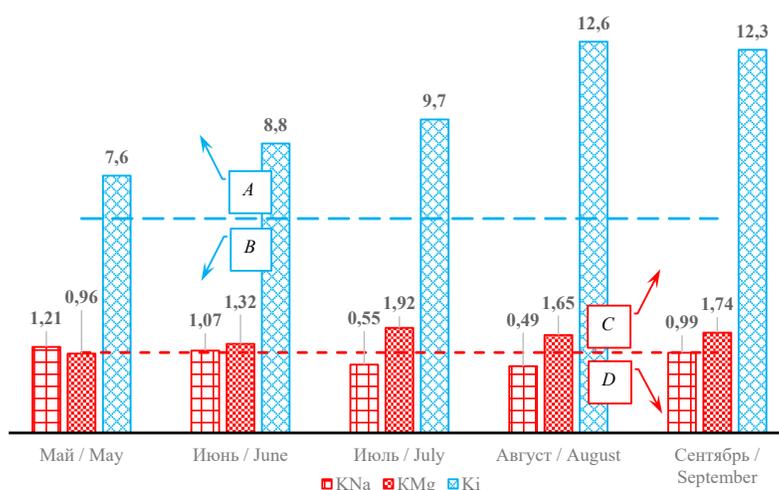


Рис. 2. Оценка пригодности природной воды для орошения: *A* и *B* – удовлетворительное и неудовлетворительное качество; *C* и *D* – есть и нет опасности засоления

Источник: А.Е. Новиков, А.Ю. Торопов с помощью MS Excel, MS Word.

Расчеты пригодности поверхностных вод относительно содержания хлоридов и сульфатов натрия также свидетельствуют о вероятности накопления вредных солей в почве и ее осолонцевания, при длительном использовании таких вод требуется разработка и проведение агротехнических и агромелиоративных мероприятий по предупреждению этих негативных процессов.

Заключение

Гидрологический режим питания и климатические факторы существенно влияют на динамику ионно-солевого состава воды водозаборной зоны Береславского водохранилища. Исследования 2023 г. показывают, что в течение вегетации сельскохозяйственных культур с мая по сентябрь сохраняется вероятность угнетения растений и ухудшения мелиоративного состояния орошаемых земель из-за поливов минерализованной водой с общим содержанием солей от 1000 до 2000 мг/дм³. По результатам выполненных расчетов ирригационных коэффициентов, определяющих характер засоления по эквивалентному соотношению катионов, изучаемые природные воды представляют опасность для сложившегося равновесия в обменных процессах почвы, а при качественном составе воды в период биологического лета — риски обеструктурирования почвы. По концентрации хлоридов и сульфатов натрия поливная вода удовлетворительного качества, вследствие этого при длительном орошении необходимо проведение агротехнических и агромелиоративных мероприятий по предупреждению процессов засоления.

Список литературы

1. Кравцова А.В., Ходоровская Н.И., Ячменев В.А., Баженова В.В. Особенности многолетней динамики развития гидрохимических показателей воды Шершневского водохранилища // *Водное хозяйство России*. 2021. № 5. С. 8—28. doi: 10.35567/1999-4508-2021-5-1
2. Новиков А.Е., Московец М.В. Экотоны водозаборных зон Цимлянского водохранилища: использование воды на орошение и водоснабжение населения // *Орошаемое земледелие*. 2023. № 1 (40). С. 45—49. doi: 10.35809/2618-8279-2023-1-11
3. Amirgaliev N.A., Medeu A., Kulbekova R., Medeu A.R., Askarova M., Opp C. Water Quality Problems Analysis and Assessment of the Ecological Security Level of the Transboundary Ural-Caspian Basin of the Republic of Kazakhstan. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12. № 4. doi: 110.3390/app12042059
4. Никаноров А.М., Минина Л.И., Лобченко Е.Е., Ничипорова И.П. Динамика качества поверхностных вод юга России // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2013. № 6. С. 57—72
5. Дрововозова Т.И., Манжина С.А. Экологическая оценка состояния малых водных объектов в зоне влияния гидромелиоративных систем // *Экология и водное хозяйство*. 2019. № 3 (03). С. 14—26. doi: 10.31774/2658-7890-2019-3-14-26
6. Безднина С.Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки. М.: РОМА, 1997. 185 с.
7. Проектирование и расчет систем дождевания и капельного орошения сельскохозяйственных культур: метод. пособие / под общей ред. В.В. Мелихова. Волгоград: СФЕР, 2017. 168 с.
8. Дрововозова Т.И., Паненко Н.Н., Манжина С.А. Оценка пригодности воды из открытых коллекторов Семикаракорского района Ростовской области для орошения // *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2020. № 3 (39). С. 154—169. doi: 10.31774/2222-1816-2020-3-154-169
9. Новиков А.Е., Калмыкова Е.В., Тихонова М.К., Вронская Л.В. Экологическая устойчивость орошаемых агроландшафтов Волго-Донского междуречья // *Сельский механизатор*. 2021. № 12. С. 24—25
10. Тихонова М.К., Медведева Л.Н. Организация биосферного мониторинга на внутренних водоемах юга России // *Известия НВ АУК*. 2022. № 4 (68). С. 523—534. doi: 10.32786/2071-9485-2022-04-61

11. Дубенок Н.Н., Болотин А.Г., Фомин С.Д., Тихонова М.К. Водные ресурсы Волгоградской области и проблемы их использования // Известия НВ АУК. 2018. № 4 (52). С. 191—197. doi: 10.32786/2071-9485-2018-04-27
12. Мелихов В.В., Родин К.А., Тихонова М.К., Болотин Д.А. Качество поверхностных вод и их влияние на экологическую устойчивость агроландшафтов // Известия НВ АУК. 2019. № 4 (56). С. 48—55. doi: 10.32786/2071-9485-2019-04-5
13. Манжина С.А. К вопросу выявления химизма и степени засоления почв: российские и зарубежные практики // Мелиорация и гидротехника. 2021. Т. 11, № 3. С. 163—181. doi: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-163-181
14. Фоменко Т.Г., Попова В.П., Черников Е.А., Макарова А.А., Ярошенко О.В. Влияние многолетнего капельного орошения плодовых насаждений на трансформацию свойств черноземных почв // Почвоведение. 2022. № 9. С. 1154—1166. doi: 10.31857/S0032180X22090064
15. Зинченко Е.В., Горохова И.Н., Круглякова Н.Г., Хитров Н.Б. Современное состояние орошаемых почв юга Приволжской возвышенности // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 68—109. doi: 10.19047/0136-1694-2020-104-68-109

Об авторах:

Новиков Андрей Евгеньевич — доктор технических наук, член-корреспондент РАН, директор, ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; заведующий кафедрой процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Волгоградский государственный технический университет, Российская Федерация, 400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, д. 28; e-mail: ae_novikov@mail.ru

ORCID: 0000-0002-8051-4786 SPIN-код: 2068-3882

Торопов Алексей Юрьевич, научный сотрудник, ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: vnioz-algo@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8798-0296 SPIN-код: 7591-4701

Поддубский Антон Александрович — кандидат технических наук, директор агроинженерного департамента, агротехнологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: poddubskiy-aa@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9796-2924 SPIN-код: 2173-6807

Московец Мария Васильевна, научный сотрудник, ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: vnioz-algo@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1997-6313 SPIN-код: 7861-7180

Збукарев Роман Валентинович — лаборант-исследователь, ВНИИОЗ — филиал ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: zbukarevr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9237-547X SPIN-код: 6089-6985



Морфология и онтогенез животных Morphology and ontogenesis of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-641-650

УДК 611.149:599.742.73

EDN BCMINU

Научная статья / Research article

Пути формирования воротной вены кошки домашней

Д.С. Былинская  , **М.В. Щипакин** 

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

 goldberg07@mail.ru

Аннотация. Воротная вена является крупным венозным коллектором, собирающим венозную кровь от органов аппарата пищеварения, расположенных в брюшной полости, за исключением каудальной части прямой кишки. Цель исследования — изучить пути формирования воротной вены у кошки домашней, дать венам морфометрическую характеристику. В качестве материалов исследования отобраны из числа доставленных на кафедру анатомии животных Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины из ветеринарных клиник Санкт-Петербурга трупы 15 кошек (средняя масса тела 3500...3800 г.), в анамнезе которых отсутствовали инфекционные болезни, а также болезни со стороны органов желудочно-кишечного тракта. Методы исследования: тонкое анатомическое препарирование и морфометрия. Для тонкого анатомического препарирования в воротную вену предварительно вводили подкрашенный латекс. Установлено: в формировании воротной вены кошки задействованы четыре крупные вены. Селезеночная, правая желудочная, желудочно-двенадцатиперстная осуществляют дренаж крови от желудка кошки домашней. Селезеночная и желудочно-двенадцатиперстная вены также участвуют в формировании путей оттока крови от поджелудочной железы и нисходящей части 12-перстной кишки. Четвертая ветвь воротной вены — общий ствол брыжеечных вен — формируется путем слияния краниальной и каудальной мезентеральных вен. Краниальная брыжеечная вена собирает кровь от тощей кишки (по крупным тощекишечным венам), от подвздошной, слепой и восходящей ободочной кишок (подвздошно-ободочная вена). От поперечной и нисходящей ободочной кишки, а также проксимального отдела прямой кишки отток крови происходит по системе каудальной брыжеечной вены.

© Былинская Д.С., Щипакин М.В., 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: отток крови, дренаж, морфометрия, препарирование, морфология, инъекция сосудов латексом, ворота печени, плотоядные

Вклад авторов: Былинская Д.С. — подбор объектов исследования, инъекция сосудистого русла, тонкое анатомическое препарирование, интерпретация результатов исследования, работа с графическим материалом; Щипакин М.В. — сбор литературных данных, обобщение результатов исследования, редактирование рукописи, формулировка выводов.

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

История статьи: поступила 11 июня 2024 г., принята к публикации 23 октября 2024 г.

Для цитирования: Былинская Д.С., Щипакин М.В. Пути формирования воротной вены кошки домашней // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 641—650. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-641-650

Tributaries of the portal vein of the domestic cat

Darya S. Bylinskaya  , Mikhail V. Shchipakin 

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation
 goldberg07@mail.ru

Abstract. The portal vein is a large venous collector that collects venous blood from the organs of the gastrointestinal tract located in the abdominal cavity, with the exception of the caudal part of the rectum. The purpose of this study was to study ways of formation of portal vein in a domestic cat, to give the veins a morphometric characteristic. The material for the study was the corpses of cats, delivered to the Department of Animal Anatomy of the Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine from veterinary clinics in St. Petersburg. In total, 15 cats were included in the study, the selection criterion for which was the absence of a history of infectious diseases, as well as diseases from the gastrointestinal tract; an average weight of the cats was 3500...3800 g. The research methods were fine anatomical dissection and morphometry. Previously, for fine anatomical dissection, the portal vein was injected with tinted latex. Four large veins take part in the formation of the portal vein of a cat. Splenic, right gastric, and gastrointestinal duodenum drain blood from the stomach of a domestic cat. Splenic and gastrointestinal veins are also involved in formation of blood outflow routes from pancreas and descending part of duodenum. The fourth branch of the portal vein, common trunk of mesenteric veins, is formed by fusion of cranial and caudal mesenteric veins. The cranial mesenteric vein collects blood from jejunum (along large jejunum veins), from iliac, caecum and ascending colon (iliac-colon vein). From transverse and descending colon, as well as the proximal rectum, blood outflow occurs through caudal mesenteric vein system.

Keywords: blood outflow, drainage, morphometry, dissection, morphology, latex vascular injection, liver gates, carnivores

Authors' contribution. Bylinskaya D.S. — selection of study objects, vascular bed injection, fine anatomical dissection, interpretation of study results, work with graphics; Shchipakin M.V. — collection of literature data, generalization of study results, editing of the manuscript, formulation of conclusions.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

Article history: received 11 June 2024; accepted 23 October 2024.

For citation: Bylinskaya DS, Shchipakin MV. Tributaries of the portal vein of the domestic cat. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):641–650. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-641-650

Введение

Воротная вена собирает венозную кровь от органов аппарата пищеварения, расположенных в брюшной полости (за исключением каудальной части прямой кишки), выполняя функцию крупного венозного коллектора. Строение, топография и размеры органов пищеварения значительно варьируют в зависимости от вида животного, что сказывается на архитектонике ветвей, формирующих воротную вену [1—5]. Среди патологий портальной системы у мелких животных отмечаются клинические случаи вне- и внутрипеченочных портосистемных шунтов. В таком случае венозная кровь, минуя печень, попадает в системный кровоток. Для определения и диагностики сосудистых аномалий развития системы воротной вены необходимы знания нормальной анатомии и архитектоники венозного русла. **Цель исследования** — изучить пути формирования воротной вены у кошки домашней, дать венам морфометрическую характеристику [6—9].

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили трупы кошек, доставленные на кафедру анатомии животных Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины из ветеринарных клиник Санкт-Петербурга. Всего в исследование включили 15 кошек (средняя масса тела 3500...3800 г.), критерием подбора которых было отсутствие в анамнезе инфекционных болезней, а также болезней со стороны органов желудочно-кишечного тракта. В качестве методов исследования применены тонкое анатомическое препарирование и морфометрия. Предварительно для тонкого анатомического препарирования осуществляли инъекцию воротной вены подкрашенным латексом. Далее объекты исследования выдерживали от 12 до 24 часов при температуре 2...4 °С, а затем помещали в 10 % раствор формальдегида на 2–3 суток и подвергали тонкому анатомическому препарированию. Морфометрию вен проводили с использованием стереоскопического микроскопа МБС-10, цифрового штангенциркуля (Stainless Hardened, 0,01). Полученные морфометрические данные обрабатывали в программе Excel. При указании анатомических терминов использовали международную ветеринарную анатомическую номенклатуру [10—16].

Результаты исследования и обсуждение

Формирование общего ствола воротной вены у кошки происходит путем слияния четырех основных стволов: правой желудочной, желудочно-двенадцатиперстной, селезеночной и общего ствола брыжеечных вен (рис. 1).

Правая желудочная вена (*v. gastrica dextra*) осуществляет отток крови с малой кривизны желудка. Ее общий ствол формируется путем слияния 6...8 ветвей небольшого диаметра. Диаметр правой желудочной вены у кошки составляет $2,73 \pm 0,29$ мм.

Желудочно-двенадцатиперстная вена (*v. gastroduodenalis*) вливается в воротную рядом с местом впадения правой желудочной вены (рис. 1). Ее диаметр составляет $2,36 \pm 0,14$ мм, а общий ствол протяженностью $3,47 \pm 0,26$ мм. В формировании общего ствола желудочно-двенадцатиперстной вены у кошки принимает участие две ветви: правая желудочно-сальниковая и краниальная поджелудочно-двенадцатиперстная вены.

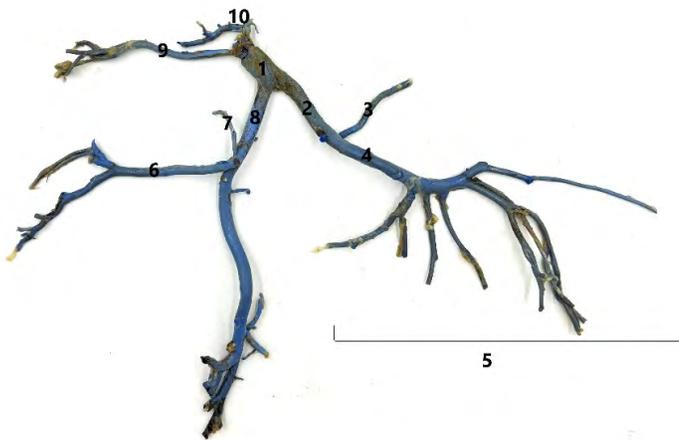


Рис. 1. Притоки воротной вены кошки. Коррозионная реплика. Инъекция сосудов латексом: 1 – воротная вена; 2 – общий ствол брыжеечных вен; 3 – каудальная брыжеечная вена; 4 – краниальная брыжеечная вена; 5 – тощекишечные вены; 6 – левая желудочно-сальниковая вена; 7 – левая желудочная вена; 8 – селезеночная вена; 9 – правая желудочная вена; 10 – желудочно-двенадцатиперстная вена

Источник: выполнено Д.С. Былинской, М.В. Щипакиным.

Fig. 1. Tributaries of the cat portal vein. Corrosion replica. Injection of vessels with latex: 1 – portal vein; 2 – common trunk of the mesenteric veins; 3 – caudal mesenteric vein; 4 – cranial mesenteric vein; 5 – jejunal veins; 6 – left gastroepiploic vein; 7 – left gastric vein; 8 – splenic vein; 9 – right gastric vein; 10 – gastroduodenal vein

Source: compiled by D.S. Bylinskaya, M.V. Shchipakin.

Правая желудочно-сальниковая вена (*v. gastroepiploica dextra*) топографически располагается на большой кривизне желудка и осуществляет отток крови от его пилорической части, принимая по ходу более мелкие ветви. Кроме того, часть ее ветвей проходит между листками большого сальника, достигая значительной протяженности. Диаметр правой желудочно-сальниковой вены составляет $1,94 \pm 0,15$ мм.

Краниальная поджелудочно-двенадцатиперстная вена (*v. pancreaticoduodenalis cranialis*) проходит вдоль брыжеечного края начальной части двенадцатиперстной

кишки, осуществляя отток крови от ее стенки, а также дренирует правую долю поджелудочной железы. Ее диаметр составляет в среднем $1,73 \pm 0,08$ мм.

Селезеночная вена (*v. lienalis*), представляя собой крупный сосудистый ствол диаметром $4,55 \pm 0,61$ мм, протяженностью $24,25 \pm 1,56$ мм, осуществляет дренаж кардиальной части желудка, селезенки, левой доли поджелудочной железы и большого сальника (рис. 2). Первым сосудом, вливающимся в общий ствол селезеночной вены, является левая желудочная вена (*v. gastrica sinistra*), ее диаметр достигает значения $1,51 \pm 0,07$ мм. Она участвует в осуществлении оттока крови от париетальной и висцеральной поверхностей кардиальной части желудка и образуется путем слияния 6...8 мелких ветвей. В области малой кривизны левая желудочная вена анастомозирует с правой желудочной веной.

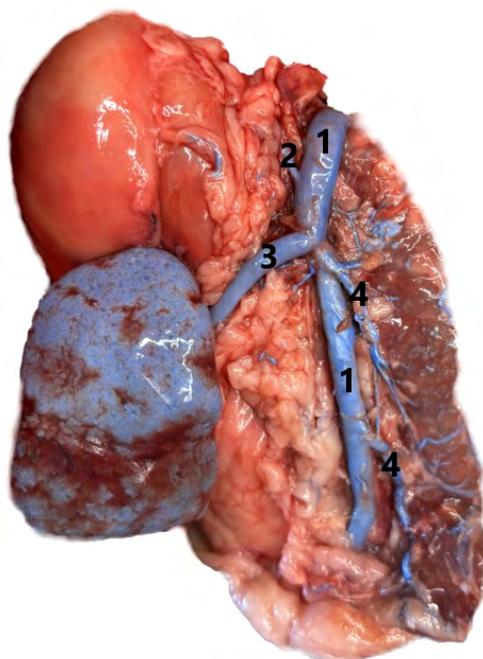


Рис. 2. Притоки селезеночной вены кошки. Инъекция сосудов латексом: 1 – селезеночная вена; 2 – левая желудочная вена; 3 – левая желудочно-сальниковая вена; 4 – вены поджелудочной железы

Источник: выполнено Д.С. Былинской, М.В. Щипакиным.

Fig. 2. Tributaries of the splenic vein of the cat. Injection of vessels with latex: 1 – splenic vein; 2 – left gastric vein; 3 – left gastroepiploic vein; 4 – veins of the pancreas

Source: compiled by D.S. Bylinskaya, M.V. Shchipakin.

На расстоянии $2,12 \pm 0,15$ мм от места впадения левой желудочной вены в селезеночную вену вливается левая желудочно-сальниковая вена (*v. gastroepiploica sinistra*) (см. рис. 2). Она располагается на большой кривизне желудка, анастомозируя с правой желудочно-сальниковой веной, превосходя последнюю по диаметру в 1,53 раза.

В каудальную часть селезеночной вены вливаются 2–3 крупных вены поджелудочной железы (*vv. pancreaticae*), которые осуществляют дренаж из паренхимы левой доли органа. Диаметр указанных вен изменялся от 1,59 мм до 2,08 мм и в среднем составил $1,88 \pm 0,21$ мм.

Крупной ветвью, дренирующей тонкую и толстую кишку, является общий ствол брыжеечных вен, который по своему ходу принимает вены разного диаметра. Так максимальный диаметр имеет краниальная брыжеечная вена (*v. mesenterica cranialis*), которая формируется путем слияния каудальной поджелудочно-двенадцатиперстной, подвздошно-ободочной и многочисленных тощекишечных вен (рис. 3). Диаметр краниальной брыжеечной вены составляет $3,72 \pm 0,19$ мм.

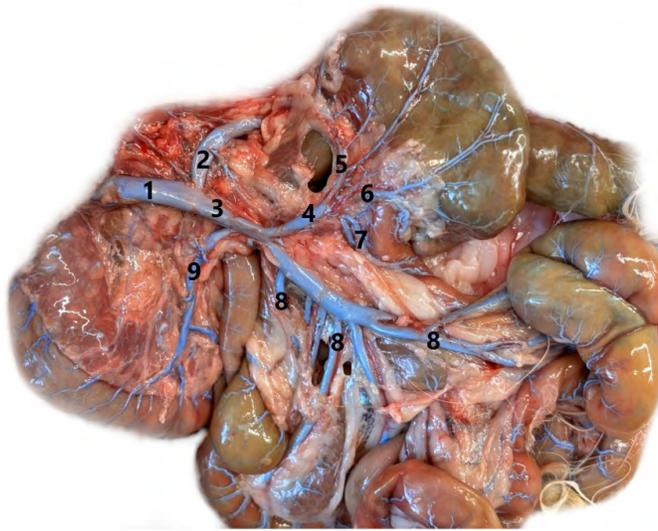


Рис. 3. Притоки краниальной брыжеечной вены кошки. Инъекция сосудов латексом: 1 – общий ствол брыжеечных вен; 2 – каудальная брыжеечная вена; 3 – краниальная брыжеечная вена; 4 – подвздошно-ободочная вена; 5 – правая ободочная вена; 6 – слепкишечная вена; 7 – подвздошные вены; 8 – тощекишечные вены; 9 – каудальная поджелудочно-двенадцатиперстная вена

Источник: выполнено Д.С. Былинской, М.В. Щипакиным.

Fig. 3. Tributaries of the cranial mesenteric vein of the cat. Injection of vessels with latex: 1 – common trunk of the mesenteric veins; 2 – caudal mesenteric vein; 3 – cranial mesenteric vein; 4 – ileocolic vein; 5 – right colic vein; 6 – cecal vein; 7 – iliac veins; 8 – jejunal veins; 9 – caudal pancreaticoduodenal vein

Source: compiled by D.S. Bylinskaya, M.V. Shchipakin.

Каудальная поджелудочно-двенадцатиперстная вена (*v. pancreaticoduodenalis caudalis*) диаметром $2,19 \pm 0,11$ мм располагается вдоль брыжеечного края кишки и осуществляет отток венозной крови от каудальной части правой доли поджелудочной железы и восходящей части двенадцатиперстной кишки (см. рис. 3).

Подвздошно-ободочная вена (*v. ileocolica*) короткая, диаметром $3,02 \pm 0,08$ мм. Ее общий ствол формируется путем слияния трех ветвей: правой ободочной, сле-

покишечной и подвздошной вен (рис. 3, рис. 4). Формирование общего ствола подвздошно-ободочной вены происходит в месте впадения подвздошной кишки в толстую. Правая ободочная вена (*v. colica dextra*), диаметром $2,35 \pm 0,29$ мм, осуществляет отток крови от восходящей ободочной кишки. Слепокишечная вена (*v. cecalis*), диаметром $1,97 \pm 0,25$ мм, дренирует всю стенку слепой кишки, а также конечного участка подвздошной кишки. Подвздошная вена (*v. ilei*), самая мелкая, диаметром $1,63 \pm 0,11$ мм, располагается вдоль брыжеечного края одноименной кишки.

Тощекишечные вены (*vv. jejunales*) берут начало на брыжеечном крае тощей кишки тонкими ветвями, которые далее, сливаясь друг с другом, формируют ветви большего диаметра. Количество тощекишечных вен, впадающих в краниальную брыжеечную вену, составляет 7...9. Их диаметр был не одинаков и изменялся от 2,62 мм до 3,47 мм, среднее значение диаметра составило $2,92 \pm 0,34$ мм. Между ветвями тощекишечных вен наблюдали внутрисистемные анастомозы, а также межсистемные — последняя тощекишечная вена анастомозирует с ветвями подвздошной вены.

Еще одной ветвью, участвующей в образовании общего ствола брыжеечных вен, является каудальная брыжеечная вена (*v. mesenterica cranialis*), диаметр которой в 1,41 раза меньше, чем краниальной и составляет $2,63 \pm 0,32$ мм.

Каудальная брыжеечная вена формируется слиянием левой ободочной и краниальной прямокишечной вен (рис. 4). Левая ободочная вена (*v. colica sinistra*), диаметром $2,37 \pm 0,22$ мм, проходит вдоль поперечной и нисходящей частей ободочной кишки и по своему ходу принимает среднюю ободочную вену (*v. colica media*), дренирующую восходящую часть ободочной кишки. Ее диаметр составляет $2,12 \pm 0,25$ мм.

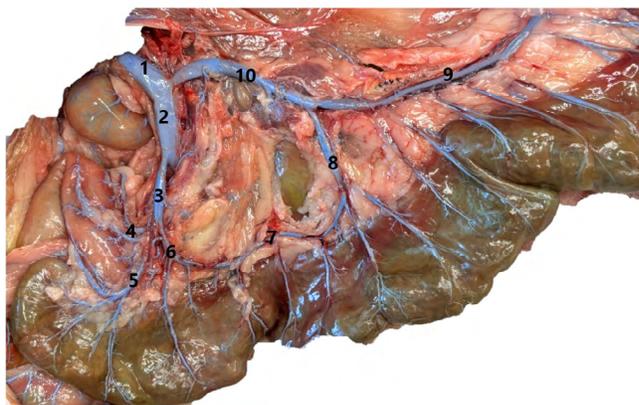


Рис. 4. Притоки каудальной брыжеечной вены кошки. Инъекция сосудов латексом: 1 — общий ствол брыжеечных вен; 2 — краниальная брыжеечная вена; 3 — подвздошно-ободочная вена; 4 — подвздошные вены; 5 — слепокишечная вена; 6 — правая ободочная вена; 7 — терми-терминальный анастомоз правой и средней ободочных вен; 8 — средняя ободочная вена; 9 — левая ободочная вена; 10 — каудальная брыжеечная вена
Источник: выполнено Д.С. Былинской, М.В. Щипакиным.

Fig. 4. Tributaries of the caudal mesenteric vein of the cat. Injection of vessels with latex: 1 — common trunk of the mesenteric veins; 2 — cranial mesenteric vein; 3 — ileocolic vein; 4 — iliac veins; 5 — cecal vein; 6 — right colic vein; 7 — termino-terminal anastomosis of the right and middle colic veins; 8 — middle colic vein; 9 — left colic vein; 10 — caudal mesenteric vein
Source: compiled by D.S. Bylinskaya, M.V. Shchipakin.

Краниальная прямокишечная вена (*v. rectalis cranialis*), диаметром $1,51 \pm 0,06$ мм, осуществляет отток крови от каудального отрезка нисходящей ободочной кишки и начальной части прямой кишки.

Заключение

Таким образом, в формировании воротной вены кошки принимает участие четыре крупные вены. Селезеночная, правая желудочная, желудочно-двенадцатиперстная осуществляет дренаж крови от желудка кошки домашней. Селезеночная и желудочно-двенадцатиперстная вены также участвуют в формировании путей оттока крови от поджелудочной железы и нисходящей части 12-перстной кишки. Четвертая ветвь воротной вены — общий ствол брыжеечных вен формируется путем слияния краниальной и каудальной мезентеральных вен. Краниальная брыжеечная вена собирает кровь от тощей кишки (по крупным тощекишечным венам), от подвздошной, слепой и восходящей ободочной кишок (подвздошно-ободочная вена). От поперечной и нисходящей ободочной кишки, а также проксимального отдела прямой кишки отток крови происходит по системе каудальной брыжеечной вены. При анализе полученных морфометрических данных можно заключить, что максимальный диаметр из ветвей, формирующих воротную вену, имеет брыжеечная вена, а минимальный — желудочно-двенадцатиперстная вена. Диаметры вен желудка неодинаковы. Так диаметр правой желудочной вены в 1,81 раза больше диаметра левой желудочной вены. Тогда как диаметр правой желудочно-сальниковой вены в 1,53 раза меньше диаметра аналогичной одноименной вены левой стороны.

Список литературы

1. Melnikov S., Bylinskaya D., Zelenevskiy N., Shchipakin M., Khvatov V., Glushonok S. Methods for studying the ductus venosus in animals // FASEB Journal. 2022. Vol. 36. № S1. P. 3727. doi: 10.1096/fasebj.2022.36.S1.R3727
2. Сидорова К.А., Череменина Н.А., Веремеева С.А., Есенбаева К.С., Кузьмина Е.Н. Морфофункциональная характеристика печени кроликов // Агропродовольственная политика России. 2012. № 12. С. 65—67.
3. Веремеева С.А., Краснолобова Е.П., Козлова С.В. Особенности печени собаки // АПК: инновационные технологии. 2018. № 1 (40). С. 20—24.
4. Анисимова К.А. Анатомия печени и желчевыводящей системы у свиней породы ландрас на ранних этапах постнатального онтогенеза // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2017. № 1. С. 114—117.
5. Хватов В.А., Зеленеvский Н.В., Васильев Д.В. Особенности анатомии желчевыводящей системы печени кошки персидской породы // Современное состояние и перспективы развития ветеринарной и зоотехнической науки: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Чебоксары, 29 октября 2020 г. Чебоксары : Чуваш. гос. аграрный ун-т, 2020. С. 342—346.
6. Первухина И.Ю., Селезнев С.Б., Есина Д.И. Ультразвуковое исследование поджелудочной железы собак и кошек // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2010. № 4. С. 7—14.
7. Хватов В.А. Ангиография воротной вены печени кошки сиамской породы // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства: сб. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., посвящен. 90-летию со дня рожд. д-ра биол. наук, проф., заслуж. работника высш. школы РФ, почетного работника высш. проф. образования РФ, почетного проф. Брянской ГСХА, почетного гражданина Брянской области Егора Павловича Ващекина, Брянск, 24 января 2023 г. Брянск : Брянский гос. аграрный ун-т, 2023. С. 331—333.

8. Левицкая К.А., Краснолобова Е.П., Веремеева С.А. Анатомо-гистологические особенности внутренних органов лисицы // Мир Инноваций. 2023. № 2(25). С. 49—55.
9. Прусаков А.В., Зеленецкий Н.В., Щипакин М.В. Источники кровоснабжения печени кошки домашней // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2017. № 2. С. 123—125.
10. Прусакова А.В., Зеленецкий Н.В. Особенности хода и ветвления воротной вены печени у козлят англо-нубийской породы // От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение и актуальные проблемы ветеринарной медицины: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. «От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение АПК», Екатеринбург, 18—19 февраля 2020 года. Екатеринбург : Урал. гос. аграрный ун-т, 2020. С. 89—90.
11. Полянская А.И., Щипакин М.В. Магистральные венозные сосуды желудка свиньи породы йоркшир в возрастном аспекте // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. 2024. № 1. С. 105—108. doi: 10.52419/issn2782-6252.2024.1.105
12. Маленьких Н.А., Мельников С.И. Венозная васкуляризация туловища свиньи породы ландрас // Знания молодых для развития ветеринарной медицины и АПК страны: материалы XI Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 24—25 ноября 2022 г. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский гос. ун-т ветеринарной медицины, 2022. С. 251—252.
13. Веремеева С.А. Морфологические особенности артерий и желчевыносящих путей печени собаки // Современные направления развития науки в животноводстве и ветеринарной медицине: Материалы междунар. науч.-практ. конф., посв. 60-летию кафедры технологии производства и переработки продуктов животноводства и 55-летию кафедры иностранных языков, Тюмень, 25 апреля 2019 г. Тюмень : Гос. аграрный ун-т Северного Зауралья, 2019. С. 78—81.
14. Табакова М.А., Рядинская Н.И. Гистологическое строение печени байкальской нерпы // Проблемы видовой и возрастной морфологии: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посв. 100-летию профессора Васильева Кирилла Антоновича, Улан-Удэ, 28 июня 2018 г. Улан-Удэ : Бурят. гос. сельскохоз. академия им. В.Р. Филиппова, 2019. С. 125—134.
15. Рядинская Н.И., Табакова М.А. Анатомические особенности в строении, топографии и кровоснабжении печени у байкальской нерпы // Морские млекопитающие Голарктики, Астрахань, 31 октября 2018 г. Астрахань : ООО «Совет по морским млекопитающим», 2018. С. 76.
16. Бартенева Ю.Ю., Зеленецкий Н.В. Морфология печени и желчного пузыря рыси евразийской // Иппология и ветеринария. 2013. № 3 (9). С. 94—97.

Referenses

1. Melnikov S, Bylinskaya D, Zelenevskiy N, Shchipakin M, Khvatov V, Glushonok S. Methods for studying the ductus venosus in animals. *FASEB Journal*. 2022;(36): S1:3727. doi: 10.1096/fasebj.2022.36.S1.R3727
2. Sidorova KA, Cheremenina NA, Veremeeva SA, Yesenbaeva KS, Kuzmina EN. Morphofunctional characteristics of rabbit liver. *Agro-food policy of Russia*. 2012;(12):65—67. (In Russ.).
3. Veremeeva SA, Krasnolobova EP, Kozlova SV. Features of the liver in dogs. *AIC: innovative technologies*. 2018;(1):20—24. (In Russ.).
4. Anisimova KA. Anatomy of the liver and bile-excreting system at pigs of breed Landrace at early stages of post-natal ontogenesis. *Issues of legal regulation in veterinary medicine*. 2017;(1):114—117. (In Russ.).
5. Khvatov VA, Zelenevsky NV, Vasiliev DV. Peculiarities of the anatomy of the liver breeding system of the Persian breed cat. In: *Current state and prospects of development of veterinary and zootechnical science: conference proceedings*. Cheboksary; 2020. p.342—346. (In Russ.).
6. Pervukhina IY, Seleznev SB, Esina DI. Ultrasound examination of the pancreas of dogs and cats. *Theoretical and applied problems of agro-industry*. 2010;(4):7—14. (In Russ.).
7. Khvatov VA. Angiography of the portal liver vein of a Siamese cat. In: *Actual problems of intensive development of animal husbandry: conference proceedings*. Bryansk; 2023. p.331—333. (In Russ.).
8. Levitskaya KA, Krasnolobova EP, Veremeeva SA. Anatomical and histological features of the internal organs of the fox. *World of Innovation*. 2023;(2):49—55. (In Russ.).
9. Prusakov AV, Zelenevsky NV, Shchipakin MV, Virunen SV, Bylinskaya DC, Vasiliev DV. Sources of blood supply of the liver of a domestic cat. *Issues of legal regulation in veterinary medicine*. 2017;(2):123—125. (In Russ.).
10. Prusakova AV, Zelenevsky NV. Features of the course and branching of the portal vein of the liver in goats of the Anglo-Nubian breed. In: *From inertia to development: conference proceedings*. Yekaterinburg; 2020. p.89—90. (In Russ.).

11. Polyanskaya AI, Shchipakin MV. The main venous vessels of the stomach of a Yorkshire pig in the age aspect. *Legal regulation in veterinary medicine*. 2024;(1):105—108. (In Russ.). doi: 10.52419/issn2782—6252.2024.1.105
12. Malenkikh NA, Melnikov SI. Venous vascularization of the trunk of a Landrace pig. In: *Knowledge of the young for the development of veterinary medicine and the agro-industrial complex of the country: conference proceedings*. Saint Petersburg; 2022. p.251—252. (In Russ.).
13. Veremeeva SA. Morphological features of the arteries and biliary tract of the dog's liver. In: *Modern trends in the development of science in animal husbandry and veterinary medicine: conference proceedings*. Tyumen; 2019. p.78—81. (In Russ.).
14. Tabakova MA, Ryadinskaya NI. Histological structure of the liver of Baikal seal. In: *Problems of species and age morphology: conference proceedings*. Ulan-Ude; 2019. p.125—134. (In Russ.).
15. Ryadinskaya NI, Tabakova MA. Anatomy features of structure, topography and blood supply of liver in Baikal seal (*Phoca sibirica*). *Marine mammals of the Holarctic: conference proceedings. Volume 2*. Astrakhan; 2018; p.137—142. (In Russ.).
16. Barteneva YY, Zelenevskiy NV. The morphology of the liver and gall bladder of *Eurasian lynx*. *Hippology and veterinary medicine*. 2013;3(9):94—97. (In Russ.).

Об авторах:

Былинская Дарья Сергеевна — кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры анатомии животных, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация, 196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: goldberg07@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9997-5630 SPIN-код: 7627-0174

Щипакин Михаил Валентинович — доктор ветеринарных наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии животных, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация, 196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: m.shchipakin@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-2960-3222 SPIN-код: 7521-3140

About authors:

Bylinskaya Darya Sergeevna — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Animal Anatomy, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya st., Saint Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: goldberg07@mail.ru

ORCHID: 0000-0001-9997-5630 SPIN-code: 7627-0174

Shchipakin Mikhail Valentinovich — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Head of the Department of Animal Anatomy, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya st., Saint Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: m.shchipakin@yandex.ru

ORCHID: 0000-0002-2960-3222 SPIN-code: 7521-3140



ЖИВОТНОВОДСТВО Animal breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-651-658

UDC 665.525:597.552.512:639.3

EDN BFJMYH

Research article / Научная статья

Panax ginseng essential oil as a dietary additive: growth and digestive enzyme benefits for rainbow trout

Morteza Yousefi¹  , Artyom V. Brigida² , Seyyed M. Hoseini³ ¹RUDN University, Moscow, Russian Federation²All-Russian Research Institute of Integrated Fish Farming — a branch of L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Moscow region, Russian Federation³Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Gorgan, Iran myousefi81@gmail.com

Abstract. This study aimed to evaluate the effects of dietary ginseng, *Panax ginseng*, essential oil (GE) on the growth performance and digestive enzyme activities in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Fish were fed diets containing 0 ml/kg (control; CTL), 0.5 ml/kg (GE0.5), 1.0 ml/kg (GE1.0), 1.5 ml/kg (GE1.5), 2.0 ml/kg (GE2.0), 2.5 ml/kg (GE2.5), 3.0 ml/kg (GE3.0), and 3.5 ml/kg (GE3.5) GE for 8 weeks. Results indicated that the highest growth performance and feed efficiency were achieved with the GE2.0 and GE2.5 treatments. The GE2.5 and GE3.0 treatments exhibited the highest activities of gut trypsin, chymotrypsin, and lipase. But there were no significant differences in the gut amylase activity among the treatments. In conclusion, dietary GE at 2.5 ml/kg is recommended for trout feed supplementation to reach the highest production.

Keywords: feed additive, aquaculture, gut, digestion, phytobiotic

Authors' contribution: Yousefi M. — investigation, methodology, data curation, formal analysis, writing — original draft; Brigida A.V. — investigation, data curation, methodology; Hoseini S.M. — data curation, methodology, formal analysis, writing — editing. The final draft manuscript was revised by all authors. All authors read and approved the final manuscript.

© Yousefi M., Brigida A.V., Hoseini S.M., 2024

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

Funding. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (RSF) No. 24-26-00212, <https://rscf.ru/en/project/24-26-00212/>

Conflict of interest. The authors report there are no competing interests to declare.

Article history: received 30 October 2024; accepted 18 November 2024.

For citation: Yousefi M, Brigida AV, Hoseini SM. *Panax ginseng* essential oil as a dietary additive: growth and digestive enzyme benefits for rainbow trout. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):651–658. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-651-658

Introduction

Dietary formulation is vital for fish growth in aquaculture, influenced by the balance of proteins, fats, carbohydrates, vitamins, and minerals. High-quality proteins support muscle development, while fats supply energy. Additionally, the digestibility of ingredients is crucial; easily digestible diets enhance nutrient absorption and promote faster growth [1].

Feed additives are used in aquafeed to improve fish production and welfare. A diverse array of feed supplements is available in the industry, tailored to specific objectives (see [2]). Incorporating targeted feed additives that enhance the gut digestive process is essential for optimizing aquaculture practices [3]. These additives not only improve growth performance and feed efficiency but also contribute to the overall health and sustainability of aquaculture operations [4]. As research continues to evolve, the development of more specialized additives tailored to specific species and dietary needs will further enhance the benefits of these approaches in aquaculture.

Medicinal herbs serve as valuable feed additives known for their numerous benefits, particularly in enhancing immune and antioxidant functions. One prominent example is ginseng, specifically *Panax ginseng*, which is a widely recognized traditional medicinal herb. Research has shown that adding ginseng extract to the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and African catfish, *Clarias gariepinus*, can significantly improve growth performance, immune responses, and antioxidant levels when administered at a dosage of 200 mg/kg [5, 6]. Additionally, incorporating 2 ml/kg of Ginseng essential oil (GE) into Nile tilapia diets yielded similar beneficial effects [7].

In contrast, studies on rainbow trout have found that administering ginseng extract at doses ranging from 100 to 300 ml/kg did not produce significant changes in growth performance, innate immune responses, or disease resistance [8]. Furthermore, there is currently no data available on the effects of GE on rainbow trout. Thus, **this study aims** to explore how the administration of 0.5...3.5 ml/kg of GE affects growth performance and digestive enzyme activity in rainbow trout.

Materials and methods

Experimental protocol. GE was prepared and added to the fish diet at different concentrations: 0 ml/kg (control; CTL), 0.5 ml/kg (GE0.5), 1.0 ml/kg (GE1.0), 1.5 ml/kg

(GE1.5), 2.0 ml/kg (GE2.0), 2.5 ml/kg (GE2.5), 3.0 ml/kg (GE3.0), and 3.5 ml/kg (GE3.5), as detailed in Table 1. All animal experiments were conducted in Research Institute of Integrated Fish Farming, 24 Sergeeva street, Noginsk district, Moscow region, 142460, Russian Federation and were approved by the Ethics Committee Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia. Rainbow trout fingerlings were sourced from a nearby farm and brought to the laboratory, where they were acclimatized in a 2000-L tank and fed the CTL diet for one week. After acclimation, the fish were randomly assigned to 24 tanks, each with 90 L of water, housing 30 fish per tank. The different diets were given to the fish over a two-month duration, with feeding occurring twice daily until they showed signs of fullness. A steady water flow rate of 0.5 L/min was maintained throughout the experiment, and fish waste was removed daily through siphoning. Water temperature, dissolved oxygen, pH and total ammonia were 14.1 ± 0.65 °C, 7.65 ± 0.88 mg/L, 7.60 ± 0.32 and $(0.44 \pm 0.10$ mg/L), respectively. At the conclusion of the feeding period, all fish in each tank were bulk-weighed to assess growth performance, following the methodology described by Abbasi et al. [9].

Table 1

Composition of the experimental diets

Ingredients, g/kg	Treatments							
	CTR	GE0.5	GE1.0	GE1.5	GE2.0	GE2.5	GE3.0	GE3.5
Wheat meal	190	190	190	190	190	190	190	190
Soybean meal	190	190	190	190	190	190	190	190
Soybean oil	80	80	80	80	80	80	80	80
Fish canning by-product ¹	200	200	200	200	200	200	200	200
Poultry byproduct ²	290	290	290	290	290	290	290	290
Vitamin premix ³	5	5	5	5	5	5	5	5
Mineral premix ³	10	10	10	10	10	10	10	10
Methionine	2	2	2	2	2	2	2	2
Lysine	3	3	3	3	3	3	3	3
Cellulose	30	25.8	21.6	17.4	13.2	9	4.8	0.6
GE	0	4.2	8.4	12.6	16.8	21	25.2	29.4
Proximate composition								
Moisture	91.0	91.8	90.8	91.3	90.6	91.4	90.3	90.0
Crude protein	400	399	403	398	399	404	402	400
Crude fat	176	172	175	173	177	179	176	174
Crude ash	90.2	90.8	91.3	90.2	90.9	91.6	91.0	90.6

Note. 1 – Crude protein 63%; crude fat 14%; 2 – Crude protein 54%; crude fat 22%; 3 – Amineh Gostar Co. (Tehran, Iran).

Source: completed by M. Yousefi, A.V. Brigida, S.M. Hoseini.

Sampling and analysis. At the end of the feeding trial, five fish from each tank were anesthetized using a clove extract bath (2 g/l). The abdominal cavity was then opened,

and the midgut was dissected for immediate freezing in liquid nitrogen for subsequent digestive enzyme assays.

The gut samples were homogenized in an equal volume of phosphate buffer pH 7.0. The homogenates were then centrifuged at 13000 rpm (15 min) and the supernatants were used for enzymatic assays. Amylase activity was determined based on the degradation of starch as a substrate [10]. Lipase activity was determined using p-nitrophenyl myristate as substrate, as described before [11]. Trypsin and chymotrypsin activities were measured using DL-arginine-p-nitroanilide [12] and N-benzoyl-L-tyrosine ethyl ester [13], respectively, as substrates.

Statistical analysis. The data were subjected to one-way ANOVA. Final weight, FCR, amylase, chymotrypsin and lipase did not meet the ANOVA assumptions; hence log-transformed before analysis. Significant ($P < 0.05$) differences among the treatments were determined by the Duncan multiple range test. SPSS v.22 was used for analysis.

Results and Discussion

The final weight, specific growth rate (SGR), and weight gain showed significant increases in the GE1.0 to GE3.5 treatments, with the highest values recorded in the GE2.5 treatment. Conversely, feed conversion ratio (FCR) significantly decreased in the GE2.0 to GE3.0 treatments, with the lowest FCR observed in the GE2.0 and GE2.5 treatments (Table 2).

While dietary GE did not significantly impact gut amylase activity, it did have a notable effect on gut lipase, trypsin, and chymotrypsin activities. All GE treatments resulted in significant increases in gut trypsin, chymotrypsin, and lipase activities, with the highest levels found in the GE2.5 and GE3.0 treatments (Table 3).

Table 2

Growth performance and survival of rainbow trout fed diets containing graded levels of *P. ginseng* essential oil for eight weeks

Parameters	Treatments								Sig.
	CTL	GE0.5	GE1.0	GE1.5	GE2.0	GE2.5	GE3.0	GE3.5	
Initial weight, g	16.6±0.37	16.6±0.17	16.2±0.54	16.7±0.17	16.8±1.02	15.5±1.03	16.6±0.49	18.8±0.77	0.291
Final weight, g	27.2±1.66a	29.0±0.89a	31.3±2.59b	33.5±0.75bc	42.4±1.95de	45.4±0.35e	39.6±0.51d	35.5±0.69c	<0.001
Weight gain, %	64.3±7.31a	74.4±3.58ab	93.0±11.7bc	100±6.45bc	154±25.7d	194±22.6e	138±9.83d	112±13.6c	<0.001
Specific growth rate, %/d	0.89±0.08a	0.99±0.04ab	1.17±0.11bc	1.24±0.06c	1.66±0.18d	1.92±0.13e	1.55±0.07d	1.34±0.11c	<0.001
Feed conversion ratio	1.86±0.15c	1.83±0.06bc	1.87±0.15c	1.75±0.13bc	1.30±0.15a	1.24±0.13a	1.67±0.09bc	1.58±0.12b	<0.001
Survival, %	100	100	100	100	100	100	100	100	-

Note. Different letters within a row show significant differences among the treatments ($n = 3$; Duncan multiple range test).

Source: completed by M. Yousefi, A.V. Brigida, S.M. Hoseini.

Digestive enzyme activities of rainbow trout fed diets containing graded levels of *P. ginseng* essential oil for eight weeks

Treatments	Parameters			
	Amylase, U/mg protein	Trypsin, U/mg protein	Chymotrypsin, U/mg protein	Lipase, U/mg protein
CTL	0.15 ± 0.01	1.42 ± 0.04a	2.30 ± 0.08a	1.30 ± 0.10a
GE0.5	0.18 ± 0.02	1.54 ± 0.06b	2.50 ± 0.05b	1.26 ± 0.05a
GE1.0	0.14 ± 0.01	1.62 ± 0.01bc	2.40 ± 0.12b	1.40 ± 0.006b
GE1.5	0.16 ± 0.03	1.69 ± 0.03c	2.80 ± 0.04c	1.45 ± 0.04b
GE2.0	0.17 ± 0.02	2.30 ± 0.03d	3.70 ± 0.05e	1.92 ± 0.02d
GE2.5	0.16 ± 0.01	2.60 ± 0.12e	3.90 ± 0.01f	1.80 ± 0.06d
GE3.0	0.15 ± 0.001	2.50 ± 0.06e	4.20 ± 0.02g	2.10 ± 0.04e
GE3.5	0.18 ± 0.04	1.71 ± 0.04c	3.10 ± 0.02d	1.55 ± 0.04c
Sig.	0.300	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Note. Different letters within a column show significant differences among the treatments (n = 3; Duncan multiple range test).

Source: completed by M. Yousefi, A.V. Brigida, S.M. Hoseini.

Essential oils may promote growth, possess antibacterial properties, and enhance immune responses in various fish species. Additionally, they can boost the antioxidant capacity and improve the resilience of aquatic animals against infectious diseases. Therefore, application of essential oils as feed supplements has recently increased in the aquaculture industry [14].

A prior study examining the supplementation of trout feed with ginseng ethanolic extract found that doses between 100...300 mg/kg did not significantly impact fish growth performance [8]. In contrast, our research indicates that a GE concentration exceeding 1.5 ml/kg acts as a growth promoter for rainbow trout, likely due to enhanced feed efficiency. These findings align partially with those observed in Nile tilapia, where doses of 1—2 ml/kg GE significantly improved both growth performance and feed efficiency [7]. The discrepancies between our results and those of the earlier trout study may stem from the lower concentrations of ginseng extract used previously or variations in the key compounds present in GE.

Enhancements in digestive processes can lead to improved nutrient absorption and subsequently better fish growth performance. Research has demonstrated that essential oils can boost gut digestive enzyme activity in fish [14]. However, data on the impact of ginseng products on fish digestive enzymes remain limited. Notably, Ahmed et al. [7] reported that while GE did not significantly affect digestive enzymes in Nile tilapia under normal conditions, it did enhance amylase activity when the fish were exposed to a pesticide. Based on our findings, the improved growth performance observed in GE-treated fish may be partially attributed to increased nutrient digestion. Similarly, enhancements in growth performance and feed efficiency have been linked to elevated digestive enzyme activities in fish fed diets supplemented with essential oils [15].

In conclusion, this study demonstrates that GE can be utilized as a feed additive for rainbow trout fingerlings. It improves digestive enzymes and growth performance, when administered at a dose of 2.5 ml/kg.

Conclusion

This study shows that ginseng essential oil (GE) can be effectively used as a feed additive to enhance growth performance and digestive enzyme activities in rainbow trout fry. Specifically, the optimal concentration was found to be 2.5 ml/kg, which resulted in the highest growth rate and increased enzyme activities of trypsin, chymotrypsin and lipase. These results suggest that GE can serve as a useful additive in aquaculture by promoting better nutrient absorption and feed efficiency in trout. Future studies may further explore species-specific responses to GE and its role in enhancing the resilience of aquaculture species to various environmental stressors.

References

1. Vijayaram S, Sun YZ, Zuorro A, Ghafarifarsani H, Van Doan H, Hoseinifar SH. Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review. *Fish Shellfish Immunol.* 2022;130:294–308. doi: 10.1016/j.fsi.2022.09.011
2. Lee CS, Lim C, Gatlin III DM, Webster CD. (eds.) *Dietary nutrients, additives, and fish health.* USA: Wiley-Blackwell; 2015.
3. Lall SP, Dumas A. Nutritional requirements of cultured fish: Formulating nutritionally adequate feeds. In: *Feed and feeding practices in aquaculture.* Elsevier; 2022. p.65–132.
4. Dawood MA, Koshio S, Esteban MÁ. Beneficial roles of feed additives as immunostimulants in aquaculture: a review. *Rev Aquacult.* 2018;10(4):950–974. doi: 10.1111/raq.12209
5. Goda AMAS. Effect of dietary ginseng herb (Ginsana® G115) supplementation on growth, feed utilization, and hematological indices of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), fingerlings. *J World Aquac Soc.* 2008;39(2):205–214. doi: 10.1111/j.1749-7345.2008.00153.x
6. Mehrim AI, Refaey MM, Hassan MAE, Zaki MA, Zenhom OA. Ginseng® as a reproductive enhancer agent for African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Fish Physiol Biochem.* 2022;48:15–32. doi: 10.1007/s10695—021—00969-y
7. Ahmed MM, Mohammed AT, Farag MR, Hassan MA, Mawed SA, Alagawany M, et al. Dietary supplementation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with *Panax ginseng* essential oil: positive impact on animal health and productive performance, and mitigating effects on atrazine-induced toxicity. *Frontiers in marine science.* 2022;9:920057. doi: 10.3389/fmars.2022.920057
8. Bulfon C, Bongiorno T, Messina M, Volpatti D, Tibaldi E, Tulli F. Effects of *Panax ginseng* extract in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on growth performance, immune response and resistance to *Yersinia ruckeri*. *Aquac Res.* 2017;48(5):2369–2379. doi: 10.1111/are.13072
9. Abbasi M, Taheri Mirghaed A, Hoseini SM, Rajabiesterabadi H, Hoseinifar SH, Van Doan H. Effects of dietary glycine supplementation on growth performance, immunological, and erythrocyte antioxidant parameters in common carp, *Cyprinus carpio*. *Animals.* 2023;13(3):412. doi: 10.3390/ani13030412
10. Bernfeld P. Amylases, α and β . In: *Methods in Enzymology.* 1955. p.149–158. doi: 10.1016/0076-6879 (55) 01021-5
11. Najm TA, Walsh MK. Characterization of lipases from *Geobacillus stearothermophilus* and *Anoxybacillus flavithermuscell* lysates. *Food and nutrition sciences.* 2022;13(3):238–251. doi: 10.4236/fns.2022.133020
12. Liu K, Seegers S, Cao W, Wanasundara J, Chen J, da Silva AE, et al. An international collaborative study on trypsin inhibitor assay for legumes, cereals, and related products. *Journal of the American Oil Chemists' Society.* 2021;98(4):375–390. doi: 10.1002/aocs.12459
13. González-Félix ML, De La Reé-Rodríguez C, Perez-Velazquez M. Optimum activity and partial characterization of chymotrypsin from the sciaenids *Cynoscion othonopterus*, *Cynoscion parvipinnis*,

and *Cynoscion xanthulus*. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2021;30(6):670–682. doi: 10.1080/10498850.2021.1924907

14. Dawood MA, El Basuini MF, Yilmaz S, Abdel-Latif HM, Alagawany M, Kari ZA, et al. Exploring the roles of dietary herbal essential oils in aquaculture: A review. *Animals*. 2022;12(7):823. doi: 10.3390/ani12070823

15. Yousefi M, Ghafarifarsani H, Hoseini SM, Hoseinifar SH, Abtahi B, Vatnikov YA, et al. Effects of dietary thyme essential oil and prebiotic administration on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) welfare and performance. *Fish Shellfish Immunol*. 2022;120:737–744. doi: 10.1016/j.fsi.2021.12.023

16. Hajirezaee S, Rohanizadehghadikolaei F, Afzali-Kordmahalleh A, Khanjani MH. Effects of dietary common juniper (*Juniperus communis*) essential oil on growth, immunity, antioxidant status, and disease resistance in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture reports*. 2024;34:101895. doi: 10.1016/j.aqrep.2023.101895

About authors:

Yousefi Morteza — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., bldg. 2, Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: yousefi_m@pfur.ru

ORCID: 0000-0002-7334-8409 SPIN-code: 2206-3081

Brigida Artyom Vladimirovich — Candidate of Veterinary Sciences, Director, All-Russian Research Institute of Integrated Fish Farming — a branch of L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry; 24 Sergeeva st., im. Vorovskogo vill., Noginsky district, Moscow region, 142460, Russian Federation, e-mail: fish-vniir@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0139-8087 SPIN-code: 3907-8576

Hoseini Seyyed Morteza — Ph.D., Assistant professor, Head of Stock Rehabilitation Division of Inland Waters Aquatics Resources Research Center (IWARRC), Iranian Fisheries Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shahid Shekari blv., Gorgan, Iran, e-mail: seyedmorteza.hoseini@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9824-5430 ResearcherID: B-7386-2017 Scopus: 35386383300

Эфирное масло женьшеня обыкновенного как пищевая добавка: польза для роста и пищеварительных ферментов радужной форели

М. Юсефи¹  , А.В. Бригида² , С.М. Хосейни³ 

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

²Всероссийский научно-исследовательский институт интегрированного рыбоводства — филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Московская область, Российская Федерация

³Иранский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства, г. Горган, Иран

 myousefi81@gmail.com

Аннотация. Цель исследования — оценка влияния кормовой добавки эфирного масла женьшеня *Panax ginseng* (GE) на показатели роста и активность пищеварительных ферментов радужной форели *Oncorhynchus mykiss*. Рыбы получали рационы, содержащие 0 мл/кг (контроль; CTL), 0,5 мл/кг (GE0,5), 1,0 мл/кг (GE1,0), 1,5 мл/кг (GE1,5), 2,0 мл/кг (GE2,0), 2,5 мл/кг (GE2,5), 3,0 мл/кг (GE3,0) и 3,5 мл/кг (GE3,5) эфирного масла женьшеня, в течение 8 недель. Результаты показали, что самые высокие показатели роста и эффективности корма были достигнуты в группах GE2,0 и GE2,5. Группы GE2,5 и GE3,0 показали самую высокую активность трипсина кишечника, химотрипсина и липазы. Но не было никаких

существенных различий в активности кишечной амилазы между группами. В заключение, для достижения наивысшей производительности в качестве кормовой добавки для форели рекомендуется добавка, содержащая эфирное масло женьшеня в дозировке 2,5 мл/кг.

Ключевые слова: кормовая добавка, аквакультура, кишечник, пищеварение, фитобиотик

Вклад авторов: Юсефи М. — исследование, методология, курирование данных, формальный анализ, написание — оригинальная рукопись; Бригида А.В. — исследование, курирование данных, методология; Хосейни С.М. — курирование данных, методология, формальный анализ, написание — редактирование. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00212, <https://rscf.ru/project/24-26-00212/>

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

Для цитирования: *Yousefi M., Brigida A.V., Hoseini S.M.* Panax ginseng essential oil as a dietary additive: growth and digestive enzyme benefits for rainbow trout // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 651—658. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-651-658

Об авторах:

Юсефи Мортеза — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2, e-mail: yousefi_m@pfur.ru

ORCID: 0000-0002-7334-8409 SPIN-код: 2206-3081

Бригида Артем Владимирович — кандидат ветеринарных наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института интегрированного рыбоводства — филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИР), Российская Федерация, 142460, Московская область, Ногинский район, пос. им. Воровского, ул. Сергеева, д. 24, e-mail: fish-vniir@mail.ru

ORCID: 0000-0002-0139-8087 SPIN-код: 3907-8576

Сайед Мортеза Хосейни — кандидат наук, ассистент, руководитель отдела восстановления запасов Центра исследований водных ресурсов внутренних вод (IWARRC) Иранского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, Организация сельскохозяйственных исследований, образования и распространения знаний, Иран, г. Горган, бульвар Шахид Шекари, e-mail: seyuedmorteza.hoseini@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9824-5430 ResearcherID: B-7386-2017 Scopus: 35386383300



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-659-668

УДК 616.15-074:615.9-07:636.087.72:619

EDN CDXASP

Научная статья / Research article

Гематологические показатели крыс при применении кормовой добавки Protigen

Л.И. Сабирзянова 

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ l-sabirzyanova@list.ru

Аннотация. Мочевина как кормовая добавка может быть использована в рационах жвачных животных для обеспечения разлагаемого белка в рубце. Ее экономическая стоимость оправдывает интерес к использованию этой добавки в качестве частичной замены источников растительного белка. В связи с особенностями переработки мочевины в рубце (быстрый гидролиз до аммиака, превышающий скорость ферментации углеводов в рубце и, как следствие, снижение эффективности синтеза микробного сырого протеина, а также увеличение риска токсичности аммиака на фоне повышения его концентрации в крови) возникает необходимость предварительной обработки данной кормовой добавки, например, с использованием технологии нанесения покрытий для разработки продуктов с замедленным высвобождением мочевины, которые могли бы контролировать разложение мочевины и выделение аммиака в рубец. Кормовая добавка Protigen обеспечивает медленное высвобождение небелкового азота в рубец. Для масштабного ее внедрения в рационы животных необходимы дополнительные исследования биологических эффектов применения. Цель исследований — изучение влияния кормовой добавки Protigen на гематологические показатели крыс. Объектом исследований послужили аутбредные крысы (♀) весом 190...210 г в количестве 50 голов. На основании результатов ранее проведенных исследований были установлены дозы кормовой добавки: 1/5 от максимальной переносимой (1000 мг/кг массы тела) для первой группы, 1/10 от максимальной переносимой (500 мг/кг массы тела) — для второй, третья (контрольная) группа крыс не получала кормовую добавку. У лабораторных животных регистрировали значения гематологических показателей через 90 дней ежедневной дачи кормовой добавки (91-й день эксперимента) и через 10 дней после отмены добавки (101-й день эксперимента). При исследовании биологических эффектов применения кормовой добавки Protigen на гематологические показатели крыс статистически значимых различий относительно значений данных показателей контрольной группы не выявлено.

Ключевые слова: лабораторные животные, доклинические исследования, мочевина, клинический анализ крови, небелковый азот

© Сабирзянова Л.И., 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. Добавка приобреталась в рамках выполнения научно-исследовательской работы по доклиническим исследованиям кафедры фармакологии и токсикологии.

История статьи: поступила 13 декабря 2023 г., принята к публикации 14 октября 2024 г.

Для цитирования: Сабирзянова Л.И. Гематологические показатели крыс при применении кормовой добавки Protigen // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 659—668. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-659-668

Comparison of hematological blood parameters when studying chronic toxicity of Protigen feed additive

Lilia I. Sabirzyanova 

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation

✉ l-sabirzyanova@list.ru

Abstract. Urea as a feed additive can be used in ruminant diets to provide degradable protein in the rumen. Its economic value justifies interest in using this additive as a partial replacement for plant protein sources. Urea processing in the rumen has some peculiarities: rapid hydrolysis to ammonia exceeding the rate of carbohydrate fermentation in the rumen and, consequently, a decrease in the efficiency of microbial crude protein synthesis, and an increase in the risk of ammonia toxicity as the result of increase in the concentration of ammonia in the blood. Therefore, there is a need for preliminary processing of this feed additive, for example using coating technology to develop sustained release urea products that could control urea degradation and ammonia release into the rumen. Protigen feed additive is an innovative ingredient that provides slow release of non-protein nitrogen in the rumen. Its large-scale implementation in animal diets requires additional research on biological effects of using this feed additive. Thus, the purpose of our research was to study the effect of Protigen feed additive on some hematological parameters of rats. The object of the research was 50 outbred rats (♀) weighing 190—210 grams. Based on the results of previous studies, the first experimental group received the feed additive at a dose of 1/5 of the maximum tolerated (1000 mg/kg body weight), the second — 1/10 of the maximum tolerated (500 mg/kg body weight), the third (control) group did not receive the feed additive. The values of hematological parameters in laboratory animals were recorded after 90 days of daily feeding of the feed additive (91 days of the experiment) and 10 days after discontinuation of the drug (101 days of the experiment). When studying biological effects of using Protigen feed additive on hematological parameters of rats, no statistically significant differences were found compared to the control group.

Key words: laboratory animals, preclinical studies, urea, clinical blood test, non-protein nitrogen

Conflicts of interest. The authors declared no conflict of interests. The additive was purchased as part of the research work on preclinical studies at the Department of Pharmacology and Toxicology.

Article history: Received: 13 December 2024. Accepted: 14 October 2024.

For citation: Sabirzyanova LI. Comparison of hematological blood parameters when studying chronic toxicity of Protigen feed additive. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):659—668. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-659-668

Введение

Мочевина представляет собой соединение небелкового азота, которое может быть использовано для обеспечения разлагаемого белка в рубце в рационах жвачных животных [1, 2]. В связи с невысокой стоимостью мочевины, ее использование в качестве неполной замены источников растительного белка вызывает повышенный интерес. Однако в животноводстве использование мочевины в питании сельскохозяйственных животных уменьшено из-за ее распада до аммиака в рубце, превышающего скорость ферментации углеводов. Асинхронность между выработкой аммиака в рубце и доступной ферментируемой энергией может оказывать негативное влияние на эффективность синтеза микробного сырого протеина, что приводит к уменьшению объема оттока микробного сырого протеина, и, как следствие, к ухудшению доступности метаболизируемого белка для производства молока [3—5]. Быстрый распад мочевины в рубце может снизить эффективность использования азота, ускорив его выведение, повысить концентрацию аммиака в крови, увеличив риск его токсичности [6, 7]. В целях устранения сложностей, возникающих при использовании мочевины кормового качества, для разработки продуктов с более медленным высвобождением мочевины используют технологии нанесения специального покрытия, которое может контролировать разложение мочевины и выделение аммиака в рубец, что положительно влияет на синхронизацию выработки аммиака в рубце с усвоением энергии и уменьшает метаболические затраты [8].

Одна из обработанных форм мочевины — специальная добавка Protigen — представляет собой концентрированную азотосодержащую фракцию рациона, являющуюся источником небелкового азота для сельскохозяйственных животных, благодаря которой жвачные животные могут употребить больше энергии и клетчатки в сухом веществе рациона [9].

Модификация схем кормления путем введения в рацион животного дополнительных кормовых добавок может приводить к изменениям гематологических показателей. Кровь выполняет важные функции в организме животных, такие как обеспечение обмена веществ, гормональная регуляция и морфофункциональное состояние организма, а также является внутренней средой организма и отражает физиологическое состояние в зависимости от факторов внешней среды, в том числе условий содержания и кормления [10, 11].

Имеющиеся результаты научных исследований биологических эффектов применения Protigen недостаточно отражают влияние введения в рацион животных данной кормовой добавки на параметры крови [12—14]. В связи с этим возникает необходимость исследования биологических эффектов кормовой добавки Protigen на гематологические показатели.

Доклинические исследования влияния изучаемой добавки на общий анализ крови не проводили, однако имеются научные публикации по применению аналогов, одним из которых является кормовая добавка Оптиген. В исследовании эффектов применения добавки показано влияние ее введения в рацион крупного рогатого скота на гематологические показатели животных.

Цель исследования — изучение гематологических показателей крыс в условиях применения кормовой добавки Protigen.

Материалы и методы исследования

В рамках выполнения НИР по теме «Изучение токсикологических свойств кормовой добавки Protigen на лабораторных животных» проведены исследования гематологии как части общей проблемы, характеризующей безопасность и эффективность введения кормовой добавки Protigen в рацион жвачных животных. Исследования проводили на 50 аутбредных крысах (♀) массой 190...210 г на базе Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины.

Лабораторные животные имели круглосуточный свободный доступ к корму и воде. Содержание лабораторных животных соответствовало рекомендуемой нормативной документации¹. В помещении содержания крыс поддерживался особый микроклимат: температура окружающего воздуха — 18...22 °С; относительная влажность — 50...60 %; автоматическая смена 12-часового светового периода (06.00–18.00 — день, 18.00–06.00 — ночь); 100 % вентиляция без рециркуляции со сменой воздуха 7...12 объемов комнаты в час.

Лабораторных животных размещали в поликарбонатных клетках на подстиле площадью 2150 см²: по 5 крыс на клетку. В качестве подстилки использовали опилки деревьев нехвойных пород, стерилизованные в сухожаровом шкафу производства Binder. Для кормления животных использовали комбикорм полнорационный для лабораторных животных ЛБК-120 (Тосненский комбикормовый завод), соответствующий ГОСТу 34566-2019². Профильтрованная водопроводная вода давалась в стандартных автоклавированных поилках.

Животные были распределены на три группы: первая и вторая — ежедневно в течение 90 дней получали перорально кормовую добавку в дозе 1/5 от максимальной переносимой (1000 мг/кг массы тела) и 1/10 от максимальной переносимой (500 мг/кг массы тела) соответственно, третья (контрольная) — не получала кормовую добавку. У лабораторных животных регистрировали гематологические показатели через 90 дней включения в рацион кормовой добавки (91-й день эксперимента) и через 10 дней после прекращения дачи кормовой добавки (101-й день эксперимента).

Взятие крови проводили методом декапитации в пробирки с ЭДТА. Оценку гематологических показателей осуществляли путем проведения общего анализа крови на гематологическом анализаторе Micros 60.

Дополнительно на протяжении всего исследования оценивали общее состояние животных (особенности их поведения, интенсивность и характер двигательной активности, наличие и характер судорог, координацию движений, тонус скелетных мышц, реакцию на тактильные, болевые, звуковые и световые раздражители, частоту и глубину дыхательных движений, ритм сердечных сокращений, состо-

¹ ГОСТ 33216–2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными.

² ГОСТ 34566–2019. Комбикорм для лабораторных животных. Общие технические условия.

яние шерстного и кожного покрова, окраску слизистых оболочек, размер зрачка, положение хвоста, количество и консистенцию фекальных масс, окраску мочи, потребление корма и воды, изменение массы тела)³.

Статистическую обработку данных определяли по группам после предварительного определения нормальности распределения данных по критерию Шапиро — Уилка. Учитывая результаты проверки на нормальность распределения данных, использовали критерий Манна — Уитни.

Результаты исследований и обсуждение

Ежедневное пероральное введение кормовой добавки Protigen в течение 90 дней, как и через 10 дней после прекращения дачи кормовой добавки, независимо от дозировки не привело к статистически значимым различиям значений гематологических показателей крови крыс опытных группы относительно контрольной, при этом все исследуемые показатели оставались в пределах физиологической нормы (табл. 1, 2). Однако, через 90 дней непрерывной дачи исследуемой кормовой добавки в дозе 1000 мг/кг массы тела отмечалась тенденция к увеличению абсолютного числа эритроцитов, лейкоцитов в 1,27 раз и процентного содержания палочкоядерных нейтрофилов в 2,25 раз относительно данных показателей в крови животных контрольной группы. Через 10 дней после прекращения применения кормовой добавки содержание лейкоцитов и эритроцитов в крови крыс опытной группы 1 максимально приближается к значению этих показателей в контрольной группе, при этом разница в значении процентного содержания палочкоядерных нейтрофилов уменьшается и составляет 1,75. Также после прекращения дачи кормовой добавки в дозе 1000 мг/кг массы тела установлена тенденция к снижению процентного содержания моноцитов в 2,86 раза относительно контроля.

Таблица 1

Влияние применения кормовой добавки Protigen на гематологические показатели крыс опытной группы 1 и контрольной группы на 91-й и 101-й день исследования

Показатель	91-й день			101-й день		
	Группа 1 (n = 10)	Контроль- ная группа (n = 5)	P	Группа 1 (n = 10)	Контроль- ная группа (n = 5)	P
	M ± SEM	M ± SEM		M ± SEM	M ± SEM	
Гематокрит, л/л	54,4 ± 1,8	53,0 ± 1,2	0,4005	54,4 ± 1,7	54,8 ± 1,0	0,9155
Гемоглобин, г/л	103,8 ± 2,3	117,0 ± 3,0	0,2219	108,6 ± 4,0	113,6 ± 4,3	0,1732
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	11,6 ± 0,6	9,1 ± 1,4	0,2101	12,1 ± 1,3	12,3 ± 1,6	1,0
Лимфоциты, %	69,0 ± 2,2	72,0 ± 3,8	0,9166	69,0 ± 5,4	63,8 ± 2,2	0,1732
Моноциты, %	2,8 ± 0,6	2,4 ± 0,6	0,6644	1,4 ± 0,6	4,0 ± 0,5	0,2289

³ Хабриев Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических лекарственных средств. 2-изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 2005. 832 с.

Окончание табл. 1

Показатель	91-й день			101-й день		
	Группа 1 (n = 10)	Контроль- ная группа (n = 5)	P	Группа 1 (n = 10)	Контроль- ная группа (n = 5)	P
	M ± SEM	M ± SEM		M ± SEM	M ± SEM	
Нейтрофилы палочкоядерные, %	1.8 ± 0,5	0,8 ± 0,4	0,1544	1,4 ± 0,2	0,8 ± 0,6	0,2282
Нейтрофилы сегментоядерные, %	26,0 ± 2,2	24,6 ± 3,7	0,9163	27,4 ± 4,9	28,0 ± 2,4	0,5309
СОЭ, мм/ч	0,5 ± 0,0	0,5 ± 0,0	0,8808	0,4 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,4189
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	211,0 ± 10,8	188,0 ± 10,3	0,2073	179,2 ± 8,4	210,4 ± 18,4	0,1161
Эозинофилы, %	0,4 ± 0,2	0,2 ± 0,2	0,6005	0,8 ± 0,5	0,4 ± 0,2	0,722
Эритроциты, 10 ¹² /л	8,4 ± 0,9	6,6 ± 0,2	0,1437	7,0 ± 0,8	6,6 ± 0,1	0,8345

Источник: выполнила Л.И. Сабирзянова.

Table 1

Effect of Protigen feed additive on hematological parameters of rats in experimental group 1 and control group on the 91st and 101st day of the experiment

Indicator	91 days			101 days		
	Group 1 (n = 10)	Control group (n = 5)	P	Group 1 (n = 10)	Control group (n = 5)	P
	M ± SEM	M ± SEM		M ± SEM	M ± SEM	
Hematocrit, l/l	54.4 ± 1.8	53.0 ± 1.2	0.4005	54.4 ± 1.7	54.8 ± 1.0	0.9155
Hemoglobin, g/l	103.8 ± 2.3	117.0 ± 3.0	0.2219	108.6 ± 4.0	113.6 ± 4.3	0.1732
Leukocytes, 10 ⁹ /l	11.6 ± 0.6	9.1 ± 1.4	0.2101	12.1 ± 1.3	12.3 ± 1.6	1.0
Lymphocytes, %	69.0 ± 2.2	72.0 ± 3.8	0.9166	69.0 ± 5.4	63.8 ± 2.2	0.1732
Monocytes, %	2.8 ± 0.6	2.4 ± 0.6	0.6644	1.4 ± 0.6	4.0 ± 0.5	0.2289
Band neutrophils, %	1.8 ± 0.5	0.8 ± 0.4	0.1544	1.4 ± 0.2	0.8 ± 0.6	0.2282
Segmented neutrophils, %	26.0 ± 2.2	24.6 ± 3.7	0.9163	27.4 ± 4.9	28.0 ± 2.4	0.5309
ESR, mm/h	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.8808	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.4189
Thrombocytes, 10 ⁹ /l	211.0 ± 10.8	188.0 ± 10.3	0.2073	179.2 ± 8.4	210.4 ± 18.4	0.1161
Eosinophils, %	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.6005	0.8 ± 0.5	0.4 ± 0.2	0.722
Erythrocytes, 10 ¹² /l	8.4 ± 0.9	6.6 ± 0.2	0.1437	7.0 ± 0.8	6.6 ± 0.1	0.8345

Source: completed by L.I. Sabirzyanova.

Введение в ежедневный рацион животных кормовой добавки Protigen в дозе 500 мг/кг массы тела на протяжении 90 дней, также, как и в первой группе, привело к увеличению абсолютного числа лейкоцитов в 1,31 раз и процентного содержания палочкоядерных нейтрофилов в 2,25 раз относительно показателей контрольной группы (табл. 2). Через 10 дней после прекращения применения кормовой добавки во второй опытной группе значение определяемых показателей максимально приблизилось к значению показателей крови крыс контрольной группы, которые не получали кормовую добавку.

Таблица 2

Влияние применения кормовой добавки Protigen на гематологические показатели крыс опытной группы 2 и контрольной группы на 91-й и 101-й день эксперимента

Показатель	День 91-й			День 101-й		
	Группа 2 (n = 10)	Контрольная группа (n = 5)	P	Группа 2 (n = 10)	Контрольная группа (n = 5)	P
	M ± SEM	M ± SEM		M ± SEM	M ± SEM	
Гематокрит л/л	55.2 ± 1.6	53.0 ± 1.2	0.2477	52.8 ± 0.6	54.8 ± 1.0	0.0867
Гемоглобин, г/л	111.4 ± 3.7	117.0 ± 3.0	0.2492	118.6 ± 1.0	113.6 ± 4.3	0.2918
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	11.9 ± 0.8	9.1 ± 1.4	0.2101	11.5 ± 1.6	12.3 ± 1.6	0.402
Лимфоциты, %	64.2 ± 3.5	72.0 ± 3.8	0.1732	66.2 ± 8.3	63.8 ± 2.2	0.2101
Моноциты, %	3.4 ± 1.2	2.4 ± 0.6	0.8271	3.8 ± 1.2	4.0 ± 0.5	0.6623
Нейтрофилы палочкоядерные, %	1.8 ± 0.4	0.8 ± 0.4	0.1251	1.2 ± 0.6	0.8 ± 0.6	0.6536
Нейтрофилы сегментоядерные, %	30.4 ± 2.6	24.6 ± 3.7	0.2463	28.6 ± 6.8	28.0 ± 2.4	0.4633
СОЭ, мм/ч	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.6005	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.6312
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	226.4 ± 10.3	188.0 ± 10.3	0.0749	182.0 ± 15.2	210.4 ± 18.4	0.2477
Эозинофилы, %	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.8808	52.8 ± 0.6	54.8 ± 1.0	0.0867
Эритроциты, 10 ¹² /л	6.5 ± 0.2	6.6 ± 0.2	0.8335	118.6 ± 1.0	113.6 ± 4.3	0.2918

Источник: выполнила Л.И. Сабирзянова.

Table 2

Effect of Protigen feed additive on hematological parameters of rats in experimental group 2 and control group on 91st and 101st day of the experiment

Indicator	91 days			101 days		
	Group 1 (n = 10)	Control group (n = 5)	P	Group 1 (n = 10)	Control group (n = 5)	P
	M ± SEM	M ± SEM		M ± SEM	M ± SEM	
Hematocrit, l/l	55.2 ± 1.6	53.0 ± 1.2	0.2477	52.8 ± 0.6	54.8 ± 1.0	0.0867
Hemoglobin, g/l	111.4 ± 3.7	117.0 ± 3.0	0.2492	118.6 ± 1.0	113.6 ± 4.3	0.2918
Leukocytes, 10 ⁹ /l	11.9 ± 0.8	9.1 ± 1.4	0.2101	11.5 ± 1.6	12.3 ± 1.6	0.402
Lymphocytes, %	64.2 ± 3.5	72.0 ± 3.8	0.1732	66.2 ± 8.3	63.8 ± 2.2	0.2101
Monocytes, %	3.4 ± 1.2	2.4 ± 0.6	0.8271	3.8 ± 1.2	4.0 ± 0.5	0.6623
Band neutrophils, %	1.8 ± 0.4	0.8 ± 0.4	0.1251	1.2 ± 0.6	0.8 ± 0.6	0.6536
Segmented neutrophils, %	30.4 ± 2.6	24.6 ± 3.7	0.2463	28.6 ± 6.8	28.0 ± 2.4	0.4633
ESR, mm/h	0.4 ± 0.0	0.5 ± 0.0	0.6005	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0	0.6312
Thrombocytes, 10 ⁹ /l	226.4 ± 10.3	188.0 ± 10.3	0.0749	182.0 ± 15.2	210.4 ± 18.4	0.2477
Eosinophils, %	0.2 ± 0.2	0.2 ± 0.2	0.8808	52.8 ± 0.6	54.8 ± 1.0	0.0867
Erythrocytes, 10 ¹² /l	6.5 ± 0.2	6.6 ± 0.2	0.8335	118.6 ± 1.0	113.6 ± 4.3	0.2918

Source: completed by L.I. Sabirzyanova.

Увеличение массы циркулирующих в крови эритроцитов и лейкоцитов, в т. ч. палочкоядерных нейтрофилов, может быть следствием усиления процесса образования этих клеток и выхода их в кровотоки. Учитывая нахождение исследуемых показателей крови в пределах физиологической нормы, можно предположить, что наблюдаемые изменения приведут к улучшению метаболических процессов в организме при продолжении применения кормовой добавки.

При ежедневном клиническом осмотре животных общее состояние, особенности поведения, интенсивность и характер двигательной активности были в пределах физиологической нормы. Шерстный покров был чистым и блестящим. Видимые слизистые оболочки розового цвета, зрачок не расширен, положение хвоста естественное, количество и консистенция фекальных масс, частота мочеиспускания и окраска мочи в пределах референсных значений. Животные всех опытных групп охотно потребляли корм и воду. Отсутствовали возбуждение и угнетение, мышечные подергивания, тремор, парезы, выделения из носа, глаз, ротовой полости или иные признаки интоксикации.

Заключение

При изучении кормовой добавки Protigen в условиях эксперимента продолжительностью 101 день негативного влияния на гематологические показатели лабораторных животных не выявлено. Однако при более длительном применении и/или увеличении дозировки возможна ответная реакция организма со стороны системы крови в виде изменения гематологических показателей, в т. ч. выхода значений за пределы физиологической нормы.

Таким образом, для более корректной оценки биологических эффектов, в частности, влияния на гематологические показатели лабораторных животных, введения в их рацион кормовой добавки Protigen следует продолжить доклинические испытания в условиях хронического эксперимента и при повышении дозы с расширением изучаемых показателей для того, чтобы убедиться, что данная кормовая добавка является нетоксичной.

Список литературы

1. Керц А. Скармливание мочевины молочному скоту: историческая перспектива и обзор // Профессиональный зоолог. 2010. Т. 26, № 3. С. 257—272.
2. Технологии применения мочевины в кормлении жвачных животных: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. «Современные достижения биотехнологии. Техника», Санкт-Петербург, 2020. Режим доступа: <https://ncfu.ru/upload/MainSKFU/science/ISTD-19-14-2020.pdf> Дата обращения: 23.01.2025.
3. Salami S.A., Moran K.A., Warren H.E., Taylor-Pickard D. Meta-analysis and sustainability of feeding slow-release urea in dairy production // PLoS ONE. 2021. Т. 16. № 2. e0246922. doi: 10.1371/journal.pone.0246922
4. Защищенная мочевина в кормах для коров. Режим доступа: <https://www.misma.by/news/zashchishchennaya-mochevina-v-kormakh-dlya-korov/> Дата обращения: 23.01.2025.
5. Роль расщепляющегося в рубце протеина в кормлении коров. Режим доступа: <https://milkua.info/ru/post/rol-rasseplausegosa-v-rubce-proteina-v-kormlenii-korov2> Дата обращения: 23.01.2025.
6. Calsamiglia S., Ferret A., Reynolds C.K., Kristensen N.B., Van Vuuren A.M. Strategies for optimizing nitrogen utilization in ruminants // Animal. 2010. Т. 4. № 7. С. 1184—1196.

7. Owens F.N., Qi S., Sapienza D.A. Invited review: Applied protein nutrition in ruminants — current status and future directions // *Professional Zootechnician*. 2014. Т. 30. № 2. С. 150—179.
8. Иванов С.А., Петров В.Б. Влияние синхронизации распада в рубце углеводов и азотистых компонентов корма на состояние метаболизма и продуктивность у жвачных животных // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2019. № 2. С. 45—53.
9. Наумов А.А. Использование кормовой добавки Optigen II в рационах высокопродуктивных дойных коров // *Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы: сб. статей XVI Междунар. науч.-практ. конф., посв. 70-летию Пензен. гос. аграрного ун-та, Пенза, 26–27 ноября 2021 г. Пенза: Пензен. гос. аграрный ун-т, 2021. С. 89—91. EDN TQSWWF*
10. Иванова О.В., Иванов Е.А., Филиппов М.М. Биохимические показатели крови и продуктивность коров под действием комбинированной кормовой добавки // *Вестник Красноярского ГАУ*. 2015. № 6. С. 215—219.
11. Файзрахманов Р.Н., Шакиров Ш.К. Влияние кормовых добавок на микроэлементный состав крови коров // *Ученые записки Казанской ГАВМ им. Н.Э. Баумана*. 2015. № 222. С. 226—229.
12. Сабирзянова Л.И., Туварджиев А.В., Коноплев В.А. Изучение токсикологических свойств кормовой добавки «Protigen» на лабораторных животных // *Ветеринарная лабораторная практика*. Санкт-Петербург, 18—22 апреля 2024 г. Санкт-Петербург: ВВМ, 2024. С. 89—94. EDN IHPUML
13. Сабирзянова Л.И. Динамика прироста массы тела у крыс при пероральном введении кормовой добавки «Protigen» // *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филлипова*. 2024. № 1(74). С. 170—174. doi: 10.34655/bgsha.2024.74.1.021 EDN QFHUWY
14. Сабирзянова Л.И. Проведение доклинических исследований кормовой добавки с защищенным небелковым азотом // *Интеграция образования, науки и практики в АПК: проблемы и перспективы: сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф., Луганск, 23–24 ноября 2023 г. Луганск: Луган. гос. аграрный ун-т им. К.Е. Ворошилова, 2023. С. 82—84. EDN OXZWUE*

References

1. Kertz AF. Urea feeding to dairy cattle: a historical perspective and review. *The Professional Animal Scientist*. 2010;26(3):257—272.
2. Technologies for the application of urea in the feeding of ruminants: materials of the VII International Scientific and Practical Conference «Modern Achievements of Biotechnology. Technique», St. Petersburg, 2020. Available at: <https://ncfu.ru/upload/MainSKFU/science/ISTD-19-14-2020.pdf> Accessed January 23, 2025. (In Russ.).
3. Salami SA, Moran KA, Warren HE, Taylor-Pickard D. Meta-analysis and sustainability of feeding slow-release urea in dairy production. *PLoS One*. 2021;16(2): e0246922. doi: 10.1371/journal.pone.0246922
4. Zhuravlev M, Istomin A. Protected urea in feeds for cows. *Nashe sel'skoe khozyaistvo*. 2021;(14):16—19. (In Russ.).
5. Vandoni S. The role of rumen-degradable protein in cow feeding. *Moloko i ferma*. 2021;(3). (In Russ.).
6. Calsamiglia S, Ferret A, Reynolds CK, Kristensen NB, Van Vuuren AM. Strategies for optimizing nitrogen utilization in ruminants. *Animal*. 2010;4(7):1184—1196. doi: 10.1017/S1751731110000911
7. Owens FN, Qi S, Sapienza DA. Invited review: Applied protein nutrition in ruminants — current status and future directions. *The Professional Animal Scientist*. 2014;30(2):150—179. doi: 10.15232/S1080-7446 (15) 30102-9
8. Ivanov SA, Petrov VB. Influence of synchronization of carbohydrate and nitrogen component degradation in the rumen on metabolism and productivity in ruminants. *Problems of Productive Animal Biology*. 2019;2:45—53. (In Russ.).
9. Naumov AA. The use of Optigen II feed additive in the diets of highly productive dairy cows. In: *Agro-industrial complex: state, problems, prospects: conference proceedings*. Penza; 2021. p.89—91. (In Russ.).
10. Ivanova OV, Ivanov EA, Filipiev MM. The blood biochemical indicators and the cow productivity under the influence of the combined feed additive. *Bulletin of KSAU*. 2015;(6):215—219. (In Russ.).
11. Faizrakhmanov RN, Shakirov SK. Feed additives influence of on the microelement composition of the blood of cows. *Journal scientific notes Kazan Bauman state academy of veterinary medicine*. 2015;222(2):226—229. (In Russ.).
12. Sabirzyanova LI, Tuvardzhiev AV, Konoplev VA. Study of the toxicological properties of the feed additive «Protigen» in laboratory animals. In: *Veterinarnaya laboratornaya praktika: conference proceedings*. Saint Petersburg; 2024. p.89—94. (In Russ.).

13. Sabirzyanova LI. Dynamics of the body weight gain in rats after oral administration of feed additive «Protigen». *Vestnik of Buryat state academy of agriculture named after V. Philippov*. 2024;1(74):170—174. (In Russ.). doi: 10.34655/bgsha.2024.74.1.021

14. Sabirzyanova LI. Conducting preclinical studies of a feed additive with protected non-protein nitrogen. In: *Integration of education, science, and practice in the agrarian complex: conference proceedings*. Lugansk; 2023. p.82—84. (In Russ.).

Об авторе:

Сабирзянова Лилия Ильгизовна — кандидат ветеринарных наук, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация, 196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: l-sabirzyanova@list.ru

ORCID: 0000-0001-6516-8857 SPIN-код: 3019-3782

About author:

Sabirzyanova Liliya Ilgizovna — Candidate of Veterinary Sciences, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya st., Saint Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: l-sabirzyanova@list.ru

ORCID: 0000-0001-6516-8857 SPIN-code: 3019-3782

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-669-684

УДК 636.271:636.2.034:575.22

EDN CIWMZF

Научная статья / Research article

Влияние распределения генотипов бета-казеина в двух поколениях на показатели молочной продуктивности крупного рогатого скота холмогорской породы

Н.А. Худякова¹ , И.С. Кожевникова^{1,2} , М.А. Кудрина¹  

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, г. Архангельск, Российская Федерация

²Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Российская Федерация
 labinnovrazv@yandex.ru

Аннотация. Актуальность исследования заключается в проработке возможности целенаправленного формирования высокопродуктивного молочного стада крупного рогатого скота с наиболее желательными генными комбинациями на основе выявленных закономерностей наследования генотипов. Цель исследования — определить закономерности наследования желательного генотипа дочернего потомства от различных генотипов их матерей и сопоставить эти закономерности с показателями молочной продуктивности. Исследование провели на двух поколениях крупного рогатого скота холмогорской породы (коров и их дочернего потомства) на базе ООО «Агрофирма „Холмогорская“» и АО «Холмогорский племязавод». Полиморфизм гена бета-казеина у коров холмогорской породы определяли методом АС-ПЦР. Наблюдали преобладание гетерозиготного генотипа бета-казеина в двух поколениях, который составил 58,5 и 60,0 % у коров-матерей и 49,1 и 48,0 % в дочернем потомстве. В обоих стадах выявлено доминирование аллеля А1, что, соответственно, влияет на наследование А1 аллельных вариантов генотипов, однако чаще встречался гетерозиготный А1А2 генотип. В целях определения наиболее перспективного генотипа для дальнейшей селекционной работы провели оценку молочной продуктивности по показателям удоя, жира и белка в молоке за 305 дней первой лактации. Коровы с генотипом А1А2 как в среднем по выборке в двух хозяйствах, так и по поколениям в основном отличались более высоким удоём. В среднем в хозяйствах за 305 дней первой лактации коровы, несущие генотипы с аллельным вариантом А2 (А1А2 и А2А2), обладали наивысшими показателями по качественному и количественному составу молока. Таким образом, для производства высококачественной молочной продукции и эффективного ведения селекционных работ в хозяйствах необходимо повысить количество животных, несущих генотип А2А2.

Ключевые слова: ген CSN2, полиморфизм, белок β-казеин, маточное поголовье, генотип, аллель

© Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Кудрина М.А., 2024



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

Вклад авторов: каждый из авторов внес равноценный вклад в формирование исследуемых групп, отбор проб, генотипирование, статистическую обработку данных, анализ полученного материала и оформление публикации.

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения темы государственного задания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН «Молекулярно-генетическая оценка сельскохозяйственных животных по селекционным и хозяйственно-полезным признакам в условиях арктических и субарктических территорий РФ» (FUUW-2024-0006).

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

История статьи: поступила 1 декабря 2023 г., принята к публикации 13 июня 2024 г.

Для цитирования: Худякова Н.А., Кожевникова И.С., Кудрина М.А. Влияние распределения генотипов бета-казеина в двух поколениях на показатели молочной продуктивности крупного рогатого скота холмогорской породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 669–684. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-669-684

The influence of distribution of beta-casein genotypes in two generations on milk productivity of Kholmogory cattle

Natalya A. Khudyakova¹ , Irina S. Kozhevnikova^{1,2} ,
Marina A. Kudrina¹  

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, *Arkhangelsk, Russian Federation*

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, *Arkhangelsk, Russian Federation*

 labinnovrazv@yandex.ru

Abstract. The relevance of the study lies in the possibility of purposeful formation of a highly productive dairy herd of cattle with the most desirable gene combinations based on the identified patterns of genotype inheritance. The aim of the study was to determine patterns of inheritance of desired genotype in daughter offspring from various genotypes of their mothers and compare them with indicators of milk productivity. The study was conducted on two generations of cattle of Kholmogorsky breed (cows and their offspring) on the basis of "Agrofirma 'Kholmogorskaya'" and "Kholmogorsky plemzavod". Determination of beta-casein gene polymorphism in Kholmogorsky cows was carried out by Allele-specific polymerase chain reaction method. There was a predominance of heterozygous beta-casein genotype in two generations, which was 58.5 and 60.0% in mother cows and 49.1 and 48.0% in daughter offspring. In both herds, the dominance of A1 allele was observed, which, accordingly, affects the inheritance of A1 allelic variants of genotypes, but A1A2 genotype was more common. In order to determine the most promising genotype for further breeding work, an assessment of milk productivity was carried out in terms of milk yield, fat and protein in milk for 305 days of the first lactation. Cows with A1A2 genotype were mainly characterized by higher milk yield. In the studied herds, the dominance of A1 allele and the predominance of cows with heterozygous A1A2 genotype were observed. On average, in farms for 305 days of the first lactation, cows carrying genotypes with A2 allele variant (A1A2 and A2A2) had the highest indicators for qualitative and quantitative composition of milk. Thus, in order to produce high-quality dairy products and effectively conduct breeding work on farms, it is necessary to increase the number of animals carrying A2A2 genotype.

Key words: CSN2 gene, polymorphism, beta-casein protein, breeding stock, genotype, allele

Authors' contribution. All authors contributed equally to the formation of the study groups, sample selection, genotyping, statistical processing of data, analysis of the obtained material and scientific writing.

Funding. The research was performed on a government assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, topic "Molecular genetic assessment of farm animals for selection and economically useful traits in the conditions of the Arctic and subarctic territories of the Russian Federation" (FUUW-2024-0006).

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: received 1 December 2023; accepted 13 June 2024.

For citation: Khudyakova NA, Kozhevnikova IS, Kudrina MA. The influence of distribution of beta-casein genotypes in two generations on milk productivity of Kholmogory cattle. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):669—684. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-669-684

Введение

Производство высококачественной молочной продукции обуславливает необходимость проведения генотипирования крупного рогатого скота для повышения качественных и количественных показателей коровьего молока. В роли генетического маркера, влияющего на показатели молочной продуктивности, для селекционного отбора ремонтных телок и быков животных выступает ген бета-казеина.

Казеин составляет 78 % всех белков коровьего молока, из которых 35 % представляет бета-казеин. Он состоит из одной полипептидной цепи, включающей 209 аминокислот [1]. Бета-казеин кодируется геном CSN2, расположенным на 6-й хромосоме крупного рогатого скота, и является высокополиморфным геном молочного белка, аллели A1 и A2 представляют наибольший интерес [2, 3]. Вариант A1 содержит аминокислоту гистидин в 67-м положении, тогда как молоко A2 в аналогичном положении имеет аминокислоту пролин. Данное различие приводит к высвобождению опиоидного пептида бета-казоморфина-7 в результате метаболических процессов в организме человека при употреблении молока A1. Бета-казоморфин-7 может приводить к возникновению ишемической болезни сердца, диабета 1 типа, неврологическим расстройствам (аутизм, шизофрения), у детей он может быть причиной синдрома младенческой смерти [4].

Большинство исследователей показывают, что частота встречаемости аллельного варианта A1 чаще всего доминирует в стаде над аллелем A2 [3, 5, 6]. Соответственно, направленное производство молока от коров с генотипом A2A2 — более перспективное направление в молочном скотоводстве. Способом получения потомства с желательным генотипом является оценка и отбор ремонтных телок, а также закрепление быков-производителей с генотипом A2A2 в стаде [7].

Наследование дочерним потомством генотипов по бета-казеину недостаточно изучено, требуется исследование не только коров и их дочернего потомства, но и быков-производителей. Согласно законам наследственной передачи признаков Г. Менделя, на основе полученных данных генотипирования коров и быков-

производителей можно предполагать, с определенной долей вероятности, носителем какого генотипа будет являться их дочернее потомство.

Цель исследования — определить закономерности наследования желательного генотипа дочернего потомства от различных генотипов матерей и сопоставить эти закономерности с показателями молочной продуктивности.

Материалы и методы исследования

Исследование проведено в 2022—2023 гг. на двух поколениях крупного рогатого скота холмогорской породы (коров и их дочернего потомства) на базе ООО «Агрофирма „Холмогорская“» и АО «Холмогорский племзавод». Для определения ассоциации генотипа и показателей молочной продуктивности отобрали 206 особей крупного рогатого скота холмогорской породы.

Произведен отбор цельной крови у крупного рогатого скота из яремной вены в вакуумные пробирки с КЗ ЭДТА с целью экстракции ДНК для дальнейшего анализа. Выделение геномной ДНК проводили с помощью набора реагентов «МагноПрайм ВЕТ» (Россия, ООО «НекстБио») согласно протоколу.

Определение полиморфизма гена бета-казеина у коров проводили методом аллель специфичного ПЦР, использовали праймеры, синтезированные ЗАО «Евроген» (Россия), со следующей нуклеотидной последовательностью:

GBhF: 5'-CTT-CCC-TGG-GCC—CAT-CCA-3' (прямой праймер аллеля A1);

IGBhF: 5'-CTT-CCC-TGG-GCC—CAT-CCC-3' (прямой праймер аллеля A2);

IGBhR: 5'-AGA-CTG-GAG-CAG-AGG-CAG-AG-3' (обратный праймер аллелей A1, A2).

Для амплификации использовался амплификатор MiniAmp Plus, Республика Сингапур, Thermo Fisher Scientific.

Детектирование ДНК-продуктов амплификации осуществляли путем горизонтального электрофореза в 2 % агарозном геле. (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика фрагментов ДНК аллельных вариантов CSN2

Генотипы CSN2	1 амплификат CSN2, п.н	2 амплификат CSN2, п.н
A1A1	A1–244	A2 – нет амплификата
A1A2	A1–244	A2–244
A2A2	A1 – нет амплификата	A2–244

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 1

Characteristics of DNA fragments of CSN2 allelic variants

CSN2 genotypes	1 CSN2 amplification, bp	2 CSN2 amplification, bp
A1A1	A1–244	A2 – no amplification
A1A2	A1–244	A2–244
A2A2	A1 – no amplification	A2–244

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

Согласно Е.К. Меркурьевой рассчитывали: частоту встречаемости генотипов, частоту отдельных аллелей, критерий соответствия фактического и ожидаемого распределения частот генотипов хи-квадрат χ^2 . Ожидаемое распределение генотипов определяли с помощью закона Харди — Вайнберга [8]. Для расчета статистических показателей использовалась программа Microsoft Excel 2021. Результаты представлены в виде $Me \pm S$ (среднее значение \pm ошибка среднего арифметического).

Результаты исследований и обсуждение

Данные по частоте встречаемости генотипов и аллелей бета-казеина крупного рогатого скота холмогорской породы в двух поколениях, полученные на базе АО «Холмогорский племязавод» и ООО «Агрофирма „Холмогорская“», приведены в табл. 2.

Таблица 2

Полиморфизм гена бета-казеина крупного рогатого скота холмогорской породы

Поколение животных	Количество голов <i>n</i>	Тип распределений	Дочернее потомство								Х ²	
			А1А1		А1А2		А2А2		Частота аллелей			
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	А1	А2		
АО «Холмогорский племязавод»												
Матери	53	Н	14	26,4	31	58,5	8	15,1	0,56	0,44	1,81	
		О	16	31,0	26	49,4	11	19,7				
Дочери	53	Н	17	32,1	26	49,1	10	18,9	0,57	0,43	0,00	
		О	17	32,0	26	49,2	10	18,8				
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»												
Матери	50	Н	14	28,0	30	60,0	6	12,0	0,58	0,42	2,68	
		О	17	33,6	24	48,7	9	17,6				
Дочери	50	Н	20	40,0	24	48,0	6	12,0	0,64	0,36	0,09	
		О	21	41,0	23	46,1	6	13,0				

Примечание. Н – наблюдаемое распределение генотипов; О – ожидаемое распределение генотипов.

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 2

Polymorphism of the beta-casein gene in Kholmogory cattle

Animal generation	Number of animals, <i>n</i>	Distribution type	Offspring								Х ²	
			А1А1		А1А2		А2А2		Allele frequency			
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	А1	А2		
Kholmogorskiy plemzavod												
Mothers	53	Н	14	26.4	31	58.5	8	15.1	0.56	0.44	1.81	
		О	16	31.0	26	49.4	11	19.7				

End tabl. 2

Animal generation	Number of animals, n	Distribution type	Offspring								X ²
			A1A1		A1A2		A2A2		Allele frequency		
			n	%	n	%	n	%	A1	A2	
Daughters	53	H	17	32.1	26	49.1	10	18.9	0.57	0.43	0.00
		O	17	32.0	26	49.2	10	18.8			

Agrofirma "Kholmogorskaya"

Mothers	50	H	14	28.0	30	60.0	6	12.0	0.58	0.42	2.68
		O	17	33.6	24	48.7	9	17.6			
Daughters	50	H	20	40.0	24	48.0	6	12.0	0.64	0.36	0.09
		O	21	41.0	23	46.1	6	13.0			

Note. H – observed distribution of genotypes; O – expected distribution of genotypes.

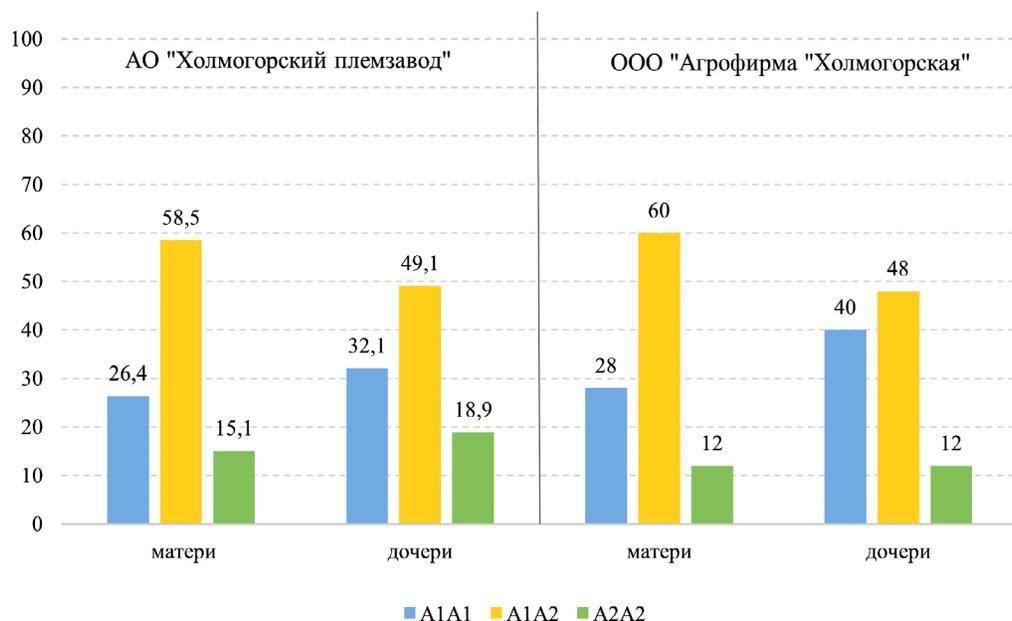
Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

Отмечено преобладание в двух поколениях гетерозиготного генотипа бета-казеина, который составил 58,5 и 60,0 % у коров-матерей и 49,1 и 48,0 % в дочернем потомстве (рис. 1). Исследования [3, 9] показывают, что гетерозиготный генотип положительно влияет как на показатели удою, так и на массовую долю жира и белка в молоке крупного рогатого скота.

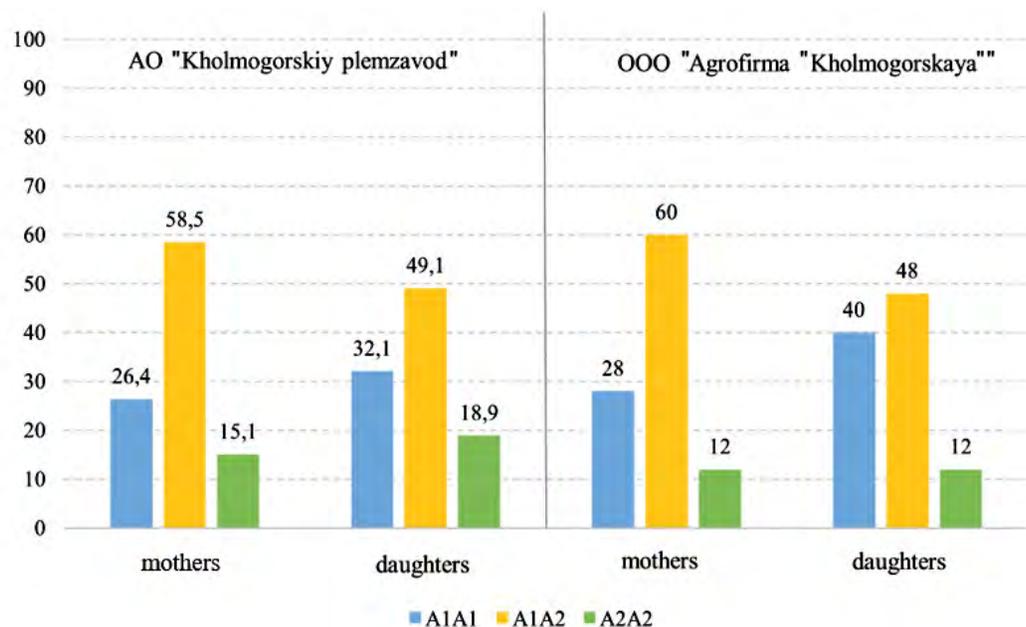
В обоих хозяйствах наблюдалось незначительное увеличение частоты встречаемости аллеля A1 и уменьшение частоты встречаемости аллеля A2 у дочернего потомства, что привело к возрастанию количества гомозиготных особей по аллелю A1 в дочернем потомстве (рис. 1). По данным исследователей, генотип A1A1 оказывает незначительное влияние на показатели по удою и жиру в молоке крупного рогатого скота [5, 8].

Так же в АО «Холмогорский племязавод» с увеличением количества голов с генотипом A1A1 увеличивалось и количество гомозиготных особей по аллелю A2 в дочернем потомстве, что составило 18,9 % или 10 голов (табл. 2, рис.). Исследователи отмечают, что генотип A2A2 положительно влияет на показатели молочной продуктивности, а именно удои и содержание белка в молоке [10–12, 14]. Животные с данным генотипом являются более востребованными для целенаправленного производства молока A2 [13, 15].

Ожидаемые значения частоты встречаемости генотипов бета-казеина практически не отличаются от фактически полученных результатов, что указывает на преобладание в исследуемых стадах системы случайного скрещивания. Рассчитанное значение χ^2 показывает на отсутствие смещения генетического равновесия изучаемой выборки животных.



Распределение частоты встречаемости генотипов бета-казеина в исследуемом стаде, %
 Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.



Frequency distribution of beta-casein genotypes in the studied herd, %
 Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

Проведен анализ распределения генотипов по бета-казеину в дочернем потомстве (табл. 3).

Таблица 3

Распределение частот аллелей и генотипов по бета-казеину в дочернем потомстве

Генотип матерей	Количество голов матерей <i>n</i>	Тип распределений	Дочернее потомство								X ²
			A1A1		A1A2		A2A2		Частота аллелей		
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2	
АО «Холмогорский племзавод»											
A1A1	14	Н	8	57,1	6	42,9	0	0	0,79	0,21	1,04
		О	9	61,7	5	33,7	0	4,6			
A1A2	31	Н	9	29,0	15	48,4	7	22,6	0,53	0,47	0,02
		О	9	28,3	15	49,8	7	21,9			
A2A2	8	Н	0	0	5	62,5	3	37,5	0,31	0,69	5,18
		О	0	9,8	3	43,0	4	47,3			
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»											
A1A1	14	Н	9	64,3	5	35,7	0	0	0,82	0,18	0,66
		О	10	67,5	4	29,3	0	3,2			
A1A2	30	Н	11	36,7	14	46,7	5	16,7	0,60	0,40	0,02
		О	11	36,0	14	48,0	5	16,0			
A2A2	6	Н	0	0	5	83,3	1	16,7	0,42	0,58	3,84
		О	0	17,4	3	48,6	2	34,0			

Примечание. Н – наблюдаемое распределение генотипов; О – ожидаемое распределение генотипов.

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 3

Distribution of allele and genotype frequencies for beta-casein in offspring

Mothers' genotype	Number of mothers <i>n</i>	Distribution type	Offspring								X ²
			A1A1		A1A2		A2A2		Allele frequency		
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2	
Kholmogorskiy plemzavod											
A1A1	14	Н	8	57.1	6	42.9	0	0	0.79	0.21	1.04
		О	9	61.7	5	33.7	0	4.6			
A1A2	31	Н	9	29.0	15	48.4	7	22.6	0.53	0.47	0.02
		О	9	28.3	15	49.8	7	21.9			
A2A2	8	Н	0	0	5	62.5	3	37.5	0.31	0.69	5.18
		О	0	9.8	3	43.0	4	47.3			

End tabl. 3

Mothers' genotype	Number of mothers <i>n</i>	Distribution type	Offspring								X2
			A1A1		A1A2		A2A2		Allele frequency		
			<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	A1	A2	
Agrofirma "Kholmogorskaya"											
A1A1	14	H	9	64.3	5	35.7	0	0	0.82	0.18	0.66
		O	10	67.5	4	29.3	0	3.2			
A1A2	30	H	11	36.7	14	46.7	5	16.7	0.60	0.40	0.02
		O	11	36.0	14	48.0	5	16.0			
A2A2	6	H	0	0	5	83.3	1	16.7	0.42	0.58	3.84
		O	0	17.4	3	48.6	2	34.0			

Note. H – observed distribution of genotypes; O – expected distribution of genotypes.

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

В обоих стадах наблюдается доминирование аллеля A1, что, соответственно, влияет на наследование A1 аллельных вариантов генотипов, однако чаще встречается A1A2 генотип. Следовательно, вероятность наследования аллеля A2 дочерним потомством снижено, что может привести к уменьшению количества гомозиготных особей по данному аллелю в стаде.

У коров с генотипом A2A2 наблюдается смещение генетического равновесия у дочернего потомства в сторону гетерозиготного генотипа. Также при сравнении наблюдаемого и ожидаемого распределения генотипов бета-казеина видно, что в стадах преобладает случайное скрещивание.

С целью определить наиболее перспективный генотип для дальнейшей селекционной работы проведен анализ молочной продуктивности по показателям удоя, жира и белка в молоке за 305 дней первой лактации крупного рогатого скоты холмогорской породы в двух поколениях на базе АО «Холмогорский племязавод» и ООО «Агрофирма „Холмогорская“». Из 103 пар животных с различными генотипами, используя критерий включения (законченная первая лактация коров и их дочернего потомства, наличие данных по показателям молочной продуктивности за 305 дней первой лактации у кров и их дочернего потомства), отобрали 66 пар коров и их дочернего потомства (табл. 4).

Таблица 4

Молочная продуктивность коров за 305 дней первой лактации при распределении генотипов по бета-казеину

Генотип	Матери		Дочери		Всего	
	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг
АО «Холмогорский племязавод»						
A1A1	5	5660 ± 440	5	5743 ± 653	10	5701 ± 394
A1A2	16	6065 ± 136	17	5639 ± 186	33	5846 ± 122
A2A2	5	6094 ± 138	4	5365 ± 312	9	5770 ± 199

Окончание табл. 4

Генотип	Матери		Дочери		Всего	
	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг	Количество голов <i>n</i>	Удой, кг
Всего	26	5993 ± 126	26	5617 ± 183	52	5805 ± 114
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»						
A1A1	11	4705 ± 151	18	5172 ± 212	29	4995 ± 150
A1A2	26	4746 ± 120	17	5386 ± 274	43	4999 ± 139
A2A2	3	4950 ± 65	5	4843 ± 339	8	4883 ± 214
Всего	40	4750 ± 89	40	5222 ± 159	80	4986 ± 95

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 4

Milk productivity of cows for 305 days of the first lactation with the distribution of genotypes by beta-casein

Genotype	Mothers		Daughters		Total	
	Number of animals <i>n</i>	Milk yield, kg	Number of animals <i>n</i>	Milk yield, kg	Number of animals <i>n</i>	Milk yield, kg
Kholmogorskiy plemzavod						
A1A1	5	5660 ± 440	5	5743 ± 653	10	5701 ± 394
A1A2	16	6065 ± 136	17	5639 ± 186	33	5846 ± 122
A2A2	5	6094 ± 138	4	5365 ± 312	9	5770 ± 199
Total	26	5993 ± 126	26	5617 ± 183	52	5805 ± 114
Agrofirma "Kholmogorskaya"						
A1A1	11	4705 ± 151	18	5172 ± 212	29	4995 ± 150
A1A2	26	4746 ± 120	17	5386 ± 274	43	4999 ± 139
A2A2	3	4950 ± 65	5	4843 ± 339	8	4883 ± 214
Total	40	4750 ± 89	40	5222 ± 159	80	4986 ± 95

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

В АО «Холмогорский племязавод» выявили 26 пар коров холмогорской породы. В среднем по лактации от коров всех генотипов и поколений надоено 5805 кг молока, при этом удой коров-матерей был выше на 188 кг. В среднем по генотипам показатель по удою незначительно выше у коров с генотипов A1A2, однако среди матерей наиболее высокий и практически равный показатель имеют коровы с генотипом A2A2 и A1A2, а среди дочернего потомства — A1A1 и A1A2.

При сравнении коров в двух поколениях одного и того же генотипа видно, что коровы из группы дочернего потомства с генотипом A1A1 превзошли аналогов из группы матерей по удою на 84 кг, с генотипом A1A2 уступили на 426 кг, с генотипом A2A2 уступили на 729 кг.

В ООО «Агрофирма „Холмогорская“» отобрали 40 пар коров холмогорской породы. В среднем по лактации от коров всех генотипов и поколений надоено 4986 кг молока, при этом удой дочернего потомства был выше на 236 кг. В среднем по генотипам показатель по удою незначительно выше у коров с генотипом A1A2, однако среди матерей наиболее высокий показатель имеют коровы с генотипом A2A2, а среди дочернего потомства — A1A2.

При сравнении коров в двух поколениях одного и того же генотипа видно, что коровы из группы дочернего потомства с генотипом A1A1 превосходили аналогов из группы матерей по удою на 467 кг, с генотипом A1A2 — на 640 кг, с генотипом A2A2 уступили на 107 кг.

Нами также проанализирована молочная продуктивность по первой лактации у дочерей-коров с разными генотипами гена бета-казеина (табл. 5).

Таблица 5

Характеристика молочной продуктивности за 305 дней первой лактации при распределении генотипов по бета-казеину в дочернем потомстве

Генотип матери	Генотип дочери	Количество голов дочерей <i>n</i>	Показатель	Удой за 305 дн по 1 л, кг	Жир, %	Белок, %	Количество жира, кг	Количество белка, кг
АО «Холмогорский племязавод»								
A1A1	A1A1	1	M	5423	3,56	3,03	193	164
			m	—	—	—	—	—
	A1A2	4	M	5884	3,46	2,96	204	174
			m	404	0,18	0,11	6	5
A1A2	A1A1	4	M	5823	3,78	3,20	220	186
			m	811	0,21	0,06	27	25
	A1A2	10	M	5692	3,61*	3,14	206*	179
			m	247	0,11	0,05	9	7
	A2A2	2	M	5596	4,19*	3,34	234*	187
			m	239	0,16	0,10	1	2
A2A2	A1A2	3	M	5136	3,87	3,26	199	167
			m	160	0,08	0,04	8	4
	A2A2	2	M	5135	3,61	3,28	185	168
			m	528	0,15	0,03	27	19
ООО «Агрофирма „Холмогорская“»								
A1A1	A1A1	8	M	4867	3,67	2,99	179	145
			m	318	0,06	0,06	11	8
	A1A2	3	M	4953	3,67	3,06	182	151
			m	387	0,10	0,11	9	10

Окончание табл. 5

Генотип матери	Генотип дочери	Количество голов дочерей <i>n</i>	Показатель	Удой за 305 дн по 1 л, кг	Жир, %	Белок, %	Количество жира, кг	Количество белка, кг
A1A2	A1A1	10	M	5416	3,61	3,09	195	168
			m	261	0,07	0,04	11	7
	A1A2	11	M	5010	3,74	3,16	187	158
			m	191	0,10	0,06	8	6
A2A2	5	M	4843	3,63	3,04	176	147	
		m	339	0,11	0,09	13	10	
A2A2	A1A2	3	M	7197	3,45	3,02	248	217
			m	660	0,07	0,07	20	18

Примечание. Различия достоверны * $p \leq 0,05$.

Источник: выполнено Н.А. Худяковой, И.С. Кожевниковой, М.А. Кудриной.

Table 5

Characteristics of milk production for 305 days of the first lactation with the distribution of genotypes for beta-casein in the offspring

Mother's genotype	Daughter's genotype	Number of daughters <i>n</i>	Index	Milk yield for 305 days, 1 liter, kg	Fat, %	Protein, %	Amount of fat, kg	Amount of protein, kg
Kholmogorskiy plemzavod								
A1A1	A1A1	1	M	5423	3.56	3.03	193	164
			m	—	—	—	—	—
	A1A2	4	M	5884	3.46	2.96	204	174
			m	404	0.18	0.11	6	5
A1A2	A1A1	4	M	5823	3.78	3.20	220	186
			m	811	0.21	0.06	27	25
	A1A2	10	M	5692	3.61*	3.14	206*	179
			m	247	0.11	0.05	9	7
	A2A2	2	M	5596	4.19*	3.34	234*	187
			m	239	0.16	0.10	1	2
A2A2	A1A2	3	M	5136	3.87	3.26	199	167
			m	160	0.08	0.04	8	4
	A2A2	2	M	5135	3.61	3.28	185	168
			m	528	0.15	0.03	27	19
Agrofirma "Kholmogorskaya"								
A1A1	A1A1	8	M	4867	3.67	2.99	179	145
			m	318	0.06	0.06	11	8
	A1A2	3	M	4953	3.67	3.06	182	151
			m	387	0.10	0.11	9	10

Ending tabl. 5

Mother's genotype	Daughter's genotype	Number of daughters <i>n</i>	Index	Milk yield for 305 days, 1 liter, kg	Fat, %	Protein, %	Amount of fat, kg	Amount of protein, kg
A1A2	A1A1	10	M	5416	3.61	3.09	195	168
			m	261	0.07	0.04	11	7
	A1A2	11	M	5010	3.74	3.16	187	158
			m	191	0.10	0.06	8	6
	A2A2	5	M	4843	3.63	3.04	176	147
			m	339	0.11	0.09	13	10
A2A2	A1A2	3	M	7197	3.45	3.02	248	217
			m	660	0.07	0.07	20	18

Note: the difference is reliable * $p \leq 0.05$.

Source: compiled by N.A. Khudyakova, I.S. Kozhevnikova, M.A. Kudrina.

В АО «Холмогорский племзавод» анализ результатов величины удоев за 305 дней первой лактации показал, что наибольшую продуктивность имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A1A1—5884 кг и дочери с генотипом A1A1 от коров с генотипом A1A2—5823 кг. Однако по качественному составу молока наивысшие показатели по массовой доле жира и белка, количеству молочного жира и белка имеют дочери с генотипом A2A2 от коров с генотипом A1A2.

В ООО «Агрофирма „Холмогорская“» наивысший показатель по удою имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A2A2—7197 кг. По массовой доле жира и белка наибольший показатель имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A1A2—3,74 и 3,16 % соответственно. Наибольшее количество жира и белка имеют дочери с генотипом A1A2 от коров с генотипом A2A2.

Коровы с генотипом A1A2, как в среднем по выборке в двух хозяйствах, так и по поколениям в основном отличаются более высоким удоем. Следовательно, при использовании в подборе пар коров с генотипом A1A2 и A2A2 вероятность передачи аллеля A2 дочернему потомству достаточно велика, как и улучшение качественного состава молока.

Заключение

Таким образом, для производства высококачественной молочной продукции и эффективного ведения селекционных работ в хозяйствах необходимо увеличить количество животных, несущих генотип A2A2. В изучаемых стадах наблюдалось доминирование аллеля A1 и преобладание коров с гетерозиготным генотипом A1A2. В среднем в хозяйствах за 305 дней первой лактации коровы, несущие генотипы с аллельным вариантом A2 (A1A2 и A2A2), обладают наивысшими показателями по качественному и количественному составу молока.

Список литературы

1. Antonopoulos D., Vougiouklaki D., Laliotis G.P., Tsironi T., Valasi I., Chatzilazarou A., Halvatsiotis P., Houhoula D. Identification of polymorphisms of the CSN2 gene encoding β -casein in greek local breeds of cattle // *Veterinary Sciences*. 2021. Vol. 8. № 11. P. 257. doi: 10.3390/vetsci8110257
2. Caroli A.M., Chessa S., Erhardt G.J. Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition // *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92. № 11. P. 5335—5352. doi: 10.3168/jds.2009-2461
3. Парамонова М.А., Валитов Ф.Р., Кононенко Т.В. Влияние полиморфизма гена бета-казеина на молочную продуктивность коров черно-пестрой породы Республики Башкортостан // *Достижения и актуальные проблемы генетики, биотехнологии и селекции животных : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посв. 120-летию со дня рожд. проф. О.А. Ивановой*. Витебск, 2021. С. 38—42.
4. Ковалюк Н.В., Якушева Л.И., Шахназарова Ю.Ю. Полиморфизм локуса CSN2 в группе скота джерсейской породы // *Сборник научных трудов КНЦЗВ*. 2020. Т. 9. № 1. С. 33—36. doi: 10.34617/wc15-0m10
5. Калашикова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Рыжова Н.В., Павлова И.Ю., Ганченкова Т.Б., Дунин М.И. Полиморфизм гена бета-казеина у холмогорских коров // *Зоотехния*. 2019. № 5. С. 1—8. doi: 10.25708/ZT.2019.25.66.008
6. Худякова Н.А., Ступина А.О., Классен И.А. Частота встречаемости аллелей гена бета-казеина у крупного рогатого скота разных пород // *Аграрный научный журнал*. 2023. № 4. С. 85—91.
7. Шейко И.П., Песоцкий Н.И., Климец Н.В., Коронец И.Н. Перспективы создания племенных стад с желательными генотипами по β -казеину в Республике Беларусь // *Зоотехническая наука Беларуси*. 2022. Т. 57. № 1. С. 139—146. doi: 10.47612/0134-9732-2022-57-1-139-146
8. Айала Ф. Дж., Кайгер Дж. Современная генетика : в 3 томах / пер. с англ. М. : Мир, 1987. Т. 1. — 295 с.
9. Фолин П.Ю., Гладырь Е.А., Ламонов С.А., Скоркина И.А. Полиморфизм гена бета-казеина у коров симментальской породы и показатели их молочной продуктивности за первую лактацию // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2023. № 2 (73). С. 170—173.
10. Калашикова Л.В., Труфанов В.Г., Хабибрахманова Я.А., Ганченкова Т.Б., Рыжова Н.В., Павлова И.Ю. Полиморфизм гена бета-казеина у холмогорских коров // *Зоотехния*. 2019. № 5. С. 8.
11. Калашикова Л.А., Хабибрахманова Я.А., Голубков А.И., Нальвадаев Н.Я., Багаль И.Е., Рыжова Н.В., Ганченкова Т.Б., Павлова И.Ю. Молочная продуктивность коров красно-пестрой породы с разными генотипами бета-казеина // *Молочное и мясное скотоводство*. 2022. № 2. С. 21—24. doi: 10.33943/MMS.2022.82.31.005
12. Клочкова А.Н., Пономарева А.В., Большакова Е.А. и др. Ассоциация генотипов гена бета-казеина и молочной продуктивности у коров костромской породы // *Актуальные вопросы развития науки и технологий: сб. статей молодых ученых 73-й студенч. науч. конф., Караваево, 7 апреля 2022 г.* Караваево: Костромская гос. сельскохозяйственная академия, 2022. С. 96—102.
13. Кудрина М.А., Кожевникова И.С., Худякова Н.А. Пищевая ценность коровьего молока // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 12. С. 229—236. doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-229-236
14. Панков М.Н., Смолина В.С., Ступина А.О., Классен И.А. Спасский Е.А. Бета-казеин коровьего молока и его влияние на организм человека (обзор) // *Журнал медико-биологических исследований*. 2024. Т. 12. № 3. С. 411—418.
15. Ardicli S., Aldevir O., Aksu E., Gumen A. The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows // *Animal Biotechnology*. 2023. Vol. 34. № 8. P. 4116—4125. doi: 10.1080/10495398.2023.2267614

References

1. Antonopoulos D, Vougiouklaki D, Laliotis GP, Tsironi T, Valasi I, Chatzilazarou A, et al. Identification of polymorphisms of the CSN2 gene encoding β -casein in Greek local breeds of cattle. *Veterinary Sciences*. 2021;8(11):257. doi: 10.3390/vetsci8110257
2. Caroli AM, Chessa S, Erhardt GJ. Invited review: Milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition. *Journal of Dairy Science*. 2009;92(11):5335—5352. doi: 10.3168/jds.2009-2461
3. Paramonova MA, Valitov FR, Kononenko TV. Influence of beta-casein gene polymorphism on dairy productivity of black-and-white cattle in the Republic of Bashkortostan. In: *Achievements and current problems of genetics, biotechnology and animal breeding: conference proceedings*. Vitebsk; 2021. p.38—42. (In Russ.).

4. Kovalyuk NV, Yakusheva LI, Shakhnazarova YY. *CSN2* locus polymorphism in the cattle of the Jersey breed. *Sbornik nauchnykh trudov KNTsZV*. 2020;9(1):33–36. (In Russ.). doi: 10.34617/wc15-0m10
5. Kalashnikova LA, Khabibrakhmanova YA, Ryzhova NV, Pavlova IY, Ganchenkova TB, Dunin MI. Polymorphism of the beta-casein gene in Kholmogorskaya breed cows. *Zootekhnika*. 2019;(5):1–8. (In Russ.). doi: 10.25708/ZT.2019.25.66.008
6. Khudyakova NA, Stupina AO, Klassen IA. Frequency of occurrence of beta-casein gene alleles in cattle of different breeds. *Scientific agricultural journal*. 2023;(4):85–91. (In Russ.).
7. Sheiko IP, Pesotsky NI, Klimets NV, Koronets IN. Prospects for creating pedigree herds with desirable β -casein genotypes in the Republic of Belarus. *Zootekhnika of Belarus*. 2022;57(1):139–146. (In Russ.). doi: 10.47612/0134-9732-2022-57-1-139-146
8. Ayala FJ, Kiger JA. *Modern genetics*. 2nd ed. Davis, USA: The Benjamin; 1980.
9. Folin PY, Gladyr EA, Lamonov SA, Skorkina IA. Beta-casein gene polymorphism in Simmental cows and indicators of their milk productivity during the first lactation. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2023;(2):170–173. (In Russ.).
10. Kalashnikova LV, Khabibrakhmanova YA, Ryzhova NV, Pavlova IY, Ganchenkova TB, Dunin MI. Polymorphism of the beta-casein gene in Kholmogorskaya breed cows. *Zootekhnika*. 2019;(5):8. (In Russ.). doi: 10.25708/ZT.2019.25.66.008
11. Kalashnikova LA, Khabibrakhmanova YA, Golubkov AI, Nalvadaev NY, Bagal IE, Ryzhova NV, Ganchenkova TB, Pavlova IY. Milk productivity of red-and-white cows with different beta-casein genotypes. *Journal of dairy and beef cattle breeding*. 2022;(2):21–24. (In Russ.). doi: 10.33943/MMS.2022.82.31.005
12. Klochkova AN, Ponomareva AV, Bolshakova EA, et al. Association of beta-casein gene genotypes and milk productivity in Kostroma cows. In: *Current issues in the development of science and technology: conference proceedings*. Karavaevo; 2022. p.96–102. (In Russ.).
13. Kudrina MA, Kozhevnikova IS, Khudyakova NA. Nutritional value of cow's milk. *Bulletin of KSAU*. 2022;(12):229–236. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-229-236
14. Pankov MN, Smolina VS, Stupina AO, Klassen IA, Spasskiy EA. Beta-casein of cow's milk and its effects on the human body (review). *Journal of Medical and Biological Research*. 2024;12(3):411–418. (In Russ.). doi: 10.37482/2687-1491-Z207.
15. Ardicli S, Aldevir O, Aksu E, Gumen A. The variation in the beta-casein genotypes and its effect on milk yield and genomic values in Holstein-Friesian cows. *Animal Biotechnology*. 2023;34(8):4116–4125. doi: 10.1080/10495398.2023.2267614

Об авторах:

Худякова Наталья Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-код: 3906-2286

Кожевникова Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, заведующий лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; доцент кафедры биологии человека и биотехнических систем, Северный арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-код: 2441-2363

Кудрина Марина Александровна — младший научный сотрудник лаборатории инновационных технологий в АПК, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Российская Федерация, 163032, г. Архангельск, п. Луговой, д. 10; e-mail: labinnovrazv@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8255-2989 SPIN-код: 4467-0807

About authors:

Khudyakova Natalya Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vill., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: nata070707hudyakova@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1302-2965 SPIN-code: 3906-2286

Kozhevnikova Irina Sergeevna — Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vill., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; Associate Professor, Department of Human Biology and Biotechnical Systems, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: kogechnikovais@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7194-9465 SPIN-code: 2441-2363

Kudrina Marina Aleksandrovna — Junior Researcher, Laboratory of Innovative Technologies in the Agro-Industrial Complex, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 10 Lugovoy vill., Arkhangelsk, 163032, Russian Federation; e-mail: labinnovrazv@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8255-2989 SPIN: 4467-0807



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-685-695

УДК 591.23

EDN CSMCLQ

Научная статья / Research article

Оценка гематологических параметров у кошек с лимфомой кишечника

А.В. Гончарова , **Т.К. Атабаева**  , **В.А. Костылев** 

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии —
МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Российская Федерация
 tanya-atabaeva@yandex.ru

Аннотация. Лимфома кишечника — наиболее распространенное опухолевое заболевание пищеварительного канала у кошек. Характеризуется тяжелым течением и слабым ответом на химиотерапию. Поскольку эта опухоль имеет общие клинические и ультразвуковые характеристики с воспалительными заболеваниями кишечника, постановка диагноза является сложной задачей и требует различных методов диагностики, включая анализы крови. Цель исследования — оценить гематологические параметры у кошек с лимфомой кишечника. Диагноз подтвердили с помощью цитологических и гистологических исследований. Объектом исследований являлись кошки различных пород (20 животных), различных половых и возрастных групп. Всем животным проводилось клиническое обследование по общепринятой методике, ультрасонографическое исследование брюшной полости, гематологические исследования. С помощью последних установили, что отсутствует связь между стадией заболевания и показателями крови. Выявлено, что первая стадия не сопровождалась изменениями гематологических показателей, вторая стадия характеризовалась повышением концентрации мочевины ($15,9 \pm 7,9$ ммоль/л), третья стадия сопровождалась повышением АЛТ ($115,6 \pm 120,7$ ЕД/л) и АСТ ($97 \pm 96,1$ ЕД/л), четвертая — лейкоцитов ($19,4 \pm 18,96$), АСТ ($134,6 \pm 242$), мочевины ($18,5 \pm 20,1$) и креатинина ($239, 8 \pm 257,1$). Повышение можно охарактеризовать как умеренное и его происхождение вероятнее всего связано с прогрессирующим разрушением мышечной массы, наличием сопутствующих заболеваний, но не с опухолевым ростом, за исключением увеличения в крови пула лейкоцитов, что может объясняться повышенной потребностью организма к фагоцитозу.

© Гончарова А.В., Атабаева Т.К., Костылев В.А., 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: новообразование кишечника, опухоль кишечника, алиментарная лимфома, неоплазия кишечника, новообразования пищеварительного канала, гематология, анализы крови, лабораторная диагностика, хроническая энтеропатия, ветеринарная онкология

Вклад авторов: каждый из авторов внес равноценный личный вклад в исследование, подготовку и написание статьи.

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

История статьи: поступила 18 июня 2024 г., принята к публикации 7 октября 2024 г.

Для цитирования: Гончарова А.В., Атабаева Т.К., Костылев В.А. Оценка гематологических параметров у кошек с лимфомой кишечника // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 685—695. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-685-695

Evaluation of hematological parameters in cats with intestinal lymphoma

Anna V. Goncharova , Tatiana K. Atabaeva ✉, Vladislav A. Kostylev 

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Skryabin,
Moscow, Russian Federation
✉ tanya-atabaeva@yandex.ru

Abstract. Nowadays intestinal lymphoma is considered to be the most common tumor of alimentary tract in cats. The disease is characterized by severe course and poor response to chemotherapy. Since this tumor shares clinical and ultrasound characteristics with inflammatory bowel disease, the diagnosis is challenging and requires a variety of diagnostic modalities, including blood tests. Thus, the purpose of the research was to evaluate hematological parameters of cats with intestinal lymphoma. The diagnosis was confirmed using cytological and histological examinations. The objects of the research were cats of various breeds (20 animals in total), various sex and age groups. All animals underwent a clinical examination using standard methods, ultrasonographic examination of the abdominal cavity, and hematological studies. It was established that there was no correlation between disease stage and blood parameters. It was found that the first stage was not accompanied by changes in hematological parameters, the second stage was characterized by an increase in urea concentration (15.9 ± 7.9 mmol/l), the third stage was accompanied by an increase in ALT (115.6 ± 120.7 U/l) and AST (97 ± 96.1 U/l), fourth stage was characterized by an increase in leukocytes (19.4 ± 18.96), AST (134.6 ± 242), urea (18.5 ± 20.1) and creatinine (239.8 ± 257.1). The level of the blood parameters' increase can be characterized as moderate and its origin is associated with progressive destruction of muscle mass, presence of concomitant diseases, but not with the tumor growth. The exception is an increased content of leukocytes in the blood, which can be explained by the body's increased need for phagocytosis.

Key words: intestinal neoplasm, intestinal tumor, alimentary lymphoma, intestinal neoplasia, gastrointestinal neoplasms, hematology, blood tests, laboratory diagnostics, chronic enteropathy, veterinary oncology

Authors' contribution. All authors contributed equally to research, preparation and writing of the article.

Conflict of interests. The authors declared no conflict of interests.

Article history: Received 18 June 2024. Accepted 7 October 2024.

For citation: Goncharova AV, Atabaeva TK, Kostylev VA. Evaluation of hematological parameters in cats with intestinal lymphoma. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):685—695. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-685-695

Введение

Значение лабораторной диагностики при опухолевых заболеваниях у животных приобретает особую актуальность ввиду сложного и инвазивного вмешательства при выполнении биопсии [1, 2]. В плане ранней диагностики заболеваний внутренних органов важное значение имеет изучение биохимических и общеклинических показателей крови. В связи с этим, большой интерес представляет оценка совокупности клеточного состава крови, эритроцитарных индексов, ферментов, продуктов обмена жира, белка, углеводов, а также электролитов [3].

В российской и зарубежной литературе практически отсутствуют обобщенные сведения о гематологической картине при опухолевом росте, в т. ч. в кишечнике у кошек. Не описаны изменения в крови у кошек с лимфомой кишечника на разных этапах роста [4, 5]. Имеются фрагментарные сведения, касающиеся изменений в крови у животных при опухоли молочной железы, первичных и вторичных опухолях грудной полости, паранеопластическом синдроме [6, 7]. Из медицинской литературы известно, что при В-клеточной и Ходжкинской лимфомах наблюдают преимущественно изменение клеточного состава крови, при этом, авторы указывают, что эти изменения являются плохим прогностическим фактором [8, 9].

В связи с вышеизложенным, **цель исследования** — оценка гематологических параметров у кошек с лимфомой кишечника на основании выявленных ультразвуковых изменений, характеризующих объем опухолевой массы.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на кафедре ветеринарной хирургии Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина и на базе ветеринарного центра «Доктор Хаг» в период с 2021 по 2023 гг. Объектами исследований являлись 20 кошек с клиническими признаками расстройства функций пищеварительной системы. Кошки были различных пород, вес находился в диапазоне от 2700 до 3100 г, возраст животных — от 1 года до 19 лет. Такая возрастная вариация была следствием обращения за ветеринарной помощью на разных стадиях поражения опухолью кишечника и лимфоузлов, соответственно, наблюдалась корреляция между возрастом животного и объемом опухолевого роста и на основании этого были сформированы группы: 1 группа (1–5 лет) — характеризовалась утолщением стенки тонкой кишки от 2,1 до 2,7 мм и утолщением подслизистого или мышечного слоев; 2-я группа (6–10 лет) — утолщением стенки тонкой кишки от 2,8 до 3,5 мм, утолщением подслизистого и/или мышечного слоев, нарушением перистальтики; 3-я группа (11–15 лет) — утолщением стенки тонкой кишки от 3,6 до 4,5 мм, утолщением подслизистого и/или мышечного слоев, частичной потерей

дифференциацией слоев, неоднородной экоструктурой и повышенной экзогенностью стенок, неоднородностью лимфатических узлов; 4-я группа (16–19 лет) — утолщением стенки тонкой кишки более 4,5 мм, деформацией просвета кишки, увеличением лимфатических узлов, наличием свободной жидкости.

Все животные были кастрированы в раннем возрасте, условия кормления и содержания были сходными. При этом, были исключены хронические вирусные инфекции.

Всем животным было проведено клиническое обследование по общепринятой методике, ультразвуковое исследование брюшной полости на аппаратах Mindray DC-60, Mindray DC-90 Vet и LOGIQ F6, линейными и микроконвексными датчиками (7...12 МГц), гематологические, цитологические и гистологические исследования пораженной ткани кишечника. Также были выполнены экспресс-тесты на вирусные инфекции для верификации диагноза, использовались такие методы как ПЦР (полимеразная цепная реакция) и ИХА (иммунохроматографический анализ). Окончательный диагноз кошкам ставили с помощью цитологического исследования измененного участка кишечника и лимфоузлов. Материал был получен в ходе тонкоигольной биопсии, проведенной под контролем УЗИ. Образцы помещали на стерильное стекло, фиксировали, окрашивали по Романовскому — Гимзе, микроскопировали при увеличении 900×.

Проведена оценка средних параметры выборок. Для анализа нами получены малые выборки, следовательно, чтобы подтвердить статистическую достоверность различия средних характеристик выборок использовался непараметрический критерий Краскела — Уоллиса, с помощью которого мы проверили гипотезу о том, что значения нескольких совокупностей, из которых извлечены сравниваемые независимые выборки, отличаются друг от друга. Расчеты проведены в программе SPSS Statistics 27.

Результаты исследований и обсуждение

Показатели общего клинического исследования крови у кошек при лимфоме приведены в табл. 1: на 4-й стадии средний показатель лейкоцитов составил $19,4 \pm 5,2 \times 10^9/\text{л}$. Такой уровень повышения лейкоцитов, по данным литературы, характеризуется как умеренный и не указывает на патологический процесс в конкретной ткани или органе.

Таблица 1

Показатели общего клинического исследования крови у кошек с лимфомой кишечника на разных стадиях

Показатель	Референсные значения	1-я стадия	2-я стадия	3-я стадия	4-я стадия
Лейкоциты, количество $\times 10^9/\text{л}$	5,5...19,5	$9,7 \pm 1,4$	$12,5 \pm 2,4$	$12,45 \pm 2,37$	$19,4 \pm 5,2$
Гемоглобин, г/л	85,0...182,0	$138,0 \pm 4,2$	$112,0 \pm 27,0$	$119,0 \pm 8,5$	$118,2 \pm 7,7$
Гематокрит, г/л	26,0...61,0	$39,9 \pm 1,6$	$32,3 \pm 9,4$	$34,5 \pm 2,2$	$35,7 \pm 2,4$

Окончание табл. 1

Показатель	Референсные значения	1-я стадия	2-я стадия	3-я стадия	4-я стадия
Эритроциты, количество $\times 10^{12}/л$	4,60...12,18	10,18 \pm 0,61	7,1 \pm 1,2	8,6 \pm 0,6	8,4 \pm 0,78
Средний объем эритроцита (MCV)	38,0...54,0	39,6 \pm 2,3	44,5 \pm 5,8	39,9 \pm 1,01	41,1 \pm 2,8
Среднее содержание гемоглобина (MCH)	11,8...19,7	13,7 \pm 0,8	15,6 \pm 1,2	13,9 \pm 0,48	14,5 \pm 0,51
Средняя концентрация гемоглобина (MCHC)	33,0...360,0	346,8 \pm 6,3	352,5 \pm 18,5	345,6 \pm 5,84	337,5 \pm 5,2
Нейтрофилы,%	3,12...12,58	17,9 \pm 12,3	9,6 \pm 2,6	7,97 \pm 2,89	9,16 \pm 1,55
Лимфоциты,%	0,73...7,86	2,9 \pm 0,4	2,17 \pm 0,39	1,9 \pm 0,3	2,26 \pm 0,54
Моноциты,%	0,07...1,36	0,31 \pm 0,06	0,42 \pm 0,17	0,27 \pm 0,12	0,54 \pm 0,17
Эозинофилы,%	0,06...1,93	0,55 \pm 0,12	0,26 \pm 0,04	0,92 \pm 0,49	0,6 \pm 0,22
Базофилы,%	0,00...0,12	0	0	0,02 \pm 0,001	0,01 \pm 0,01
Тромбоциты, тыс. (PLT)	100,0...730,0	271,2 \pm 28,5	393,5 \pm 149,5	317,3 \pm 135,01	335,2 \pm 36,24

Примечание. $p = 0,05$.

Источник: выполнили А.В. Гончарова, Т.К. Атабаева, В.А. Костылев.

Table 1

Indicators of general clinical blood test in cats with intestinal lymphoma at different stages

Indicator	Reference values	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
Leukocytes, $10^9/L$	5.5...19.5	9.7 \pm 1.4	12.5 \pm 2.4	12.45 \pm 2.37	19.4 \pm 5.2
Hemoglobin, g/L	85.0...182.0	138.0 \pm 4.2	112.0 \pm 27.0	119.0 \pm 8.5	118.2 \pm 7.7
Hematocrit, g/L	26.0...61.0	39.9 \pm 1.6	32.3 \pm 9.4	34.5 \pm 2.2	35.7 \pm 2.4
Erythrocytes, $10^{12}/L$	4.60...12.18	10.18 \pm 0.61	7.1 \pm 1.2	8.6 \pm 0.6	8.4 \pm 0.78
Mean corpuscular volume (MCV)	38.0...54.0	39.6 \pm 2.3	44.5 \pm 5.8	39.9 \pm 1.01	41.1 \pm 2.8
Mean corpuscular hemoglobin (MCH)	11.8...19.7	13.7 \pm 0.8	15.6 \pm 1.2	13.9 \pm 0.48	14.5 \pm 0.51
Mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC)	33.0...360.0	346.8 \pm 6.3	352.5 \pm 18.5	345.6 \pm 5.84	337.5 \pm 5.2
Neutrophils,%	3.12...12.58	17.9 \pm 12.3	9.6 \pm 2.6	7.97 \pm 2.89	9.16 \pm 1.55
Lymphocytes,%	0.73...7.86	2.9 \pm 0.4	2.17 \pm 0.39	1.9 \pm 0.3	2.26 \pm 0.54
Monocytes,%	0.07...1.36	0.31 \pm 0.06	0.42 \pm 0.17	0.27 \pm 0.12	0.54 \pm 0.17
Eosinophils,%	0.06...1.93	0.55 \pm 0.12	0.26 \pm 0.04	0.92 \pm 0.49	0.6 \pm 0.22
Basophils,%	0.00...0.12	0	0	0.02 \pm 0.001	0.01 \pm 0.01
Thrombocytes, thousand (PLT)	100.0...730.0	271.2 \pm 28.5	393.5 \pm 149.5	317.3 \pm 135.01	335.2 \pm 36.24

Note. $p = 0.05$.

Source: completed by A.V. Goncharova, T.K. Atabaeva, V.A. Kostylev.

Показатели биохимического исследования крови у кошек при лимфоме (табл. 2): на 2-й стадии средний показатель мочевины составил $16,0 \pm 5,6$ ммоль/л; на 3-й стадии средний показатель АЛТ — $115,6 \pm 69,7$ ЕД/л; АСТ — $97,0 \pm 68,0$ ЕД/л; на 4-й стадии средний показатель АСТ — $134,6 \pm 82,6$ ЕД/л; мочевины — $20,28 \pm 6,08$ ммоль/л; креатинин — $239,8 \pm 78,3$ ммоль/л.

Таблица 2

Показатели биохимического исследования сыворотки крови у кошек с лимфомой кишечника на разных стадиях

Показатель	Референсные значения	1-я стадия	2-я стадия	3-я стадия	4-я стадия
АЛТ, ЕД/л	22,0...84,0	$61,0 \pm 5,0$	$67,5 \pm 18,5$	$115,6 \pm 69,7$	$60,3 \pm 12,7$
АСТ, ЕД/л	18,0...51,0	$25,8 \pm 1,9$	$31,0 \pm 5,0$	$97,0 \pm 68,0$	$134,6 \pm 82,6$
Общий белок, г/л	57,0...78,0	$71,8 \pm 1,6$	$69,5 \pm 9,5$	$63,3 \pm 2,6$	$62,15 \pm 2,71$
Общий билирубин, мкмоль/л	2,0...7,0	$3,0 \pm 0,04$	$2,0 \pm 1,0$	$5,0 \pm 1,0$	$5,65 \pm 1,55$
Альбумин, г/л	23,0...35,0	$35,8 \pm 0,9$	$34,5 \pm 2,5$	$27,0 \pm 1,0$	$53,15 \pm 27,81$
ГГТ, ЕД /л	1,0...10,0	$2,8 \pm 1,8$	$4,0 \pm 1,0$	$2,5 \pm 1,5$	$4,2 \pm 1,1$
Мочевина, ммоль/л	6,28...11,71	$10,4 \pm 0,4$	$16,0 \pm 5,6$	$7,5 \pm 0,39$	$20,28 \pm 6,08$
Креатинин, мкмоль/л	71,0...159,0	$130,2 \pm 5,6$	$97,5 \pm 14,5$	$104,6 \pm 8,2$	$239,8 \pm 78,3$
Щелочная фосфатаза, ЕД /л	9,0...53,0	$45,4 \pm 3,1$	$47,5 \pm 3,5$	$36,0 \pm 4,5$	$35,3 \pm 5,9$
Фосфор, ммоль/л	0,84...1,94	$1,34 \pm 0,07$	$1,4 \pm 0,2$	$1,62 \pm 0,04$	$1,62 \pm 0,26$
Натрий, ммоль/л	143,0...165,0	$150,8 \pm 1,9$	$147,0 \pm 5,0$	$153,0 \pm 3,0$	$150,09 \pm 1,69$
Калий, ммоль/л	4,1...5,4	$3,88 \pm 0,15$	$3,9 \pm 0,2$	$5,05 \pm 0,85$	$3,8 \pm 0,2$
Хлор, ммоль/л	107,0...122,0	$115,8 \pm 1,6$	$116,0 \pm 6,0$	$116,5 \pm 0,5$	$117,17 \pm 1,42$
Глюкоза, ммоль/л	3,9...8,2	$4,79 \pm 0,36$	$7,45 \pm 0,95$	$6,03 \pm 0,13$	$6,4 \pm 0,4$

Примечание. $p = 0,05$.

Источник: выполнили А.В. Гончарова, Т.К. Атабаева, В.А. Костылев.

Table 2

Serum biochemistry parameters in cats with intestinal lymphoma at different stages

Indicator	Reference values	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
ALT, U/L	22.0...84.0	61.0 ± 5.0	67.5 ± 18.5	115.6 ± 69.7	60.3 ± 12.7
AST, U/L	18.0...51.0	25.8 ± 1.9	31.0 ± 5.0	97.0 ± 68.0	134.6 ± 82.6
Total protein, g/L	57.0...78.0	71.8 ± 1.6	69.5 ± 9.5	63.3 ± 2.6	62.15 ± 2.71
Total bilirubin, μmol/L	2.0...7.0	3.0 ± 0.04	2.0 ± 1.0	5.0 ± 1.0	5.65 ± 1.55
Albumin, g/L	23.0...35.0	35.8 ± 0.9	34.5 ± 2.5	27.0 ± 1.0	53.15 ± 27.81
GGT, U/L	1.0...10.0	2.8 ± 1.8	4.0 ± 1.0	2.5 ± 1.5	4.2 ± 1.1
Urea, mmol/L	6.28...11.71	10.4 ± 0.4	16.0 ± 5.6	7.5 ± 0.39	20.28 ± 6.08
Creatinine, μmol/L	71.0...159.0	130.2 ± 5.6	97.5 ± 14.5	104.6 ± 8.2	239.8 ± 78.3
Alkaline phosphatase, U/L	9.0...53.0	45.4 ± 3.1	47.5 ± 3.5	36.0 ± 4.5	35.3 ± 5.9
Phosphorus, mmol/L	0.84...1.94	1.34 ± 0.07	1.4 ± 0.2	1.62 ± 0.04	1.62 ± 0.26
Sodium, mmol/L	143.0...165.0	150.8 ± 1.9	147.0 ± 5.0	153.0 ± 3.0	150.09 ± 1.69
Potassium, mmol/L	4.1...5.4	3.88 ± 0.15	3.9 ± 0.2	5.05 ± 0.85	3.8 ± 0.2
Chloride, mmol/L	107.0...122.0	115.8 ± 1.6	116.0 ± 6.0	116.5 ± 0.5	117.17 ± 1.42
Glucose, mmol/L	3.9...8.2	4.79 ± 0.36	7.45 ± 0.95	6.03 ± 0.13	6.4 ± 0.4

Note. $p = 0.05$.

Source: completed by A.V. Goncharova, T.K. Atabaeva, V.A. Kostylev.

Результаты расчетов непараметрического критерия Краскела — Уоллиса и асимптотической значимости для четырех независимых малых выборок приведены в табл. 3: такие показатели крови у кошек с лимфомой кишечника, как альбумин, мочеви́на, глюкоза и базофилы, статистически достоверно отличаются от уровня этих показателей здоровых животных. Для остальных показателей разница между выборками статистически не значима, различия возникли случайно.

Таблица 3

Расчеты непараметрического критерия Краскела — Уоллиса и асимптотической значимости для четырех независимых малых выборок

Показатели крови	H Краскала — Уоллеса	Асимп. знач. (двухсторонняя)
Базофилы, %	8,809	0,032
Альбумин, г/л	8,848	0,031
Мочевина, ммоль/л	7,891	0,048
Глюкоза, ммоль/л	9,842	0,020

Источник: выполнили А.В. Гончарова, Т.К. Атабаева, В.А. Костылев.

Table 3

Calculations of nonparametric Kruskal – Wallis test and asymptotic significance for four independent small samples

Blood indicators	H Kruskal – Wallis	Asymptotic significance (two-sided)
Basophils, %	8.809	0.032
Albumin, g/L	8.848	0.031
Urea, mmol/L	7.891	0.048
Glucose, mmol/L	9.842	0.020

Source: completed by A.V. Goncharova, T.K. Atabaeva, V.A. Kostylev.

Алиментарная лимфома у кошек представляет собой группу опухолевых заболеваний, при которых в патологический процесс вовлекаются разные отделы кишечника, лимфоузлы и окружающая жировая ткань [9–11]. Большой интерес представляет возможность ранней диагностики опухолевого процесса на основании данных рутинных гематологических исследований, таких как биохимический и клинический анализы. Однако, нет данных, позволяющих выделить специфические изменения при лимфомах разных типах [12, 13]. Так, из научного сообщения Д.А. Вильмис [7] известно, что чаще всего у собак и кошек устанавливают анемию, тромбоцитопению, панцитопению, лейкоцитоз/лейкопению как комплекс признаков паранеопластического синдрома. При этом такие изменения наблюдаются на поздних стадиях, когда размер опухоли достигает значительного и присутствуют множественные метастазы.

Н.В. Ленкова, А.В. Вольф [14] описывают эритроцитопению, лейкоцитоз, лимфоцитоз, а также повышение уровня АСТ и мочевины при алиментарной лимфоме у кошек.

По нашим данным, у кошек с лимфомой кишечника наблюдались отклонения в гематологических параметрах при достижении размеров опухоли 3 мм и вовлечении в патологический процесс окружающих тканей. Мы зафиксировали повышение концентрации мочевины, креатинина, АЛТ, АСТ, лейкоцитов. Уровень повышения активности форменных элементов крови — лейкоцитов, а также продуктов обмена белка и трансаминаз можно охарактеризовать как умеренный. Так как упитанность животных в момент осмотра и взятия крови была зафиксирована ниже средней, а структурных изменений внутренних органов, за исключением кишечника и лимфоузлов, не было выявлено, мы связывали изменения этих параметров не с опухолевым процессом, а с возникающей на фоне вовлечения в патологический процесс окружающих тканей, прогрессирующей потерей мышечной массы. Что находит подтверждение в работах И.И. Григорьевой, Т.А. Раскиной [15]. В результате проведенных исследований мы уточнили имеющиеся в литературе данные, а также провели корреляцию между размером опухоли и изменением гематологических параметров [11, 16–18].

Заключение

Доказана статистическая достоверность отличия некоторых показателей крови, таких как альбумин, мочевина, глюкоза и базофилы у кошек с различной стадией заболевания (лимфома кишечника) от аналогичных показателей здоровых животных. Это позволяет предположить определенную зависимость этих показателей от стадии заболевания. На 2, 3 и 4-й стадиях лимфомы кишечника выявлены достоверные изменения таких показателей крови как альбумин, мочевина, глюкоза и базофилы, что может свидетельствовать о деструктивных поражениях организма в целом при массивном росте опухоли и вовлечении в патологический процесс окружающих тканей.

Список литературы

1. Атабаева Т.К., Костылев В.А., Гончарова А.В. Ультрасонографические предпосылки и обоснование стадий развития лимфомы кишечника у кошек // Ветеринария, зоотехния, биотехнология. 2023. № 12. Т. 2. С. 31—37. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202312203
2. Атабаева Т.К., Гончарова А.В., Костылев В.А. Анализ анамнестических данных и их роль в возникновении и развитии лимфомы кишечника у кошек // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (221). С. 75—79. doi: 10.53083/1996-4277-2023-221-3-75-79
3. Gnezdilova L.A., Panin A.N., Pozyabin S.V., Selina M.V., Borunova S.M. Diagnosis and prevention of infectious animal diseases on monitoring, molecular diagnostics, and genomics // International Journal of Ecosystems and Ecology Science. 2022. Т. 12. № 3. Р. 459—470. doi: 10.31407/ijees12.358
4. Мазуров В.И., Криволапов Ю.А. Классификация лимфом. Морфология, иммунофенотип, молекулярная генетика неходжкинских лимфом // Практическая онкология. 2004. Т. 5. № 3. С. 169—175.
5. Андреев А.А., Полябин С.В. Особенности диагностики непроходимости пищеварительного канала у кошек // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2016. № 1. С. 6—11.
6. Кривчикова Ю.М. Оценка некоторых показателей биохимического анализа крови больных раком молочной железы при применении таксанов // Научный результат. Серия: Физиология. 2016. Т. 2. № 1 (7). С. 36—41. doi: 10.18413/2409-0298-2016-2-1-36-41
7. Вильмис Д.А. Гематологические проявления паранеопластических синдромов у собак // Международный вестник ветеринарии. 2024. № 1. С. 381—391. doi: 10.52419/issn2072-2419.2024.1.381
8. Франциянц Е.М., Бандовкина В.А., Куштова Л.Б., Николаева Н.В., Лысенко И.Б., Пушкарева Т.Ф., Капуза Е.А. Возможность прогнозирования развития рецидива при диффузной в-крупноклеточной лимфоме с использованием показателей общего анализа крови // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 3. С. 169. doi: 10.17513/spno.30935
9. Vail D.M., Moore A.S., Ogilvie G.K., Volk L.M. Feline lymphoma (145 cases): proliferation indices, cluster of differentiation 3 immunoreactivity, and their association with prognosis in 90 cats // J Vet Intern Med. 1998. Vol. 12. № 5. P. 349—354. doi: 10.1111/j.1939-1676.1998.tb02134.x
10. Barrs V.R., Vanessa R.B., Beatty J.A. Feline alimentary lymphoma: 1. Classification, risk factors, clinical signs and non-invasive diagnostics // Journal of Feline Medicine and Surgery. 2012. Vol. 14. P. 182.
11. Kiselow M.A., Rassnick K.M., McDonough S.P., Goldstein R.E., Simpson K.W., Weinkle T.K., Erb H.N. Outcome of cats with low-grade lymphocytic lymphoma: 41 cases (1995–2005) // J. Am. Vet. Med. Assoc. 2008. № 232. P. 405.
12. Vail D.M., Thamm D.H., Liptak J.M. Small animal clinical oncology. 6th edition // Withrow & MacEwen's. 2020. 864 p.
13. Sykes J.E. Greene's Infectious Diseases of the Dog and Cat, 5-th Edition. 2022. P. 1340—1396.
14. Ленкова Н.В., Вольф А.В. Характеристика функциональных и лабораторных показателей при алиментарной лимфоме у кошек // Международный вестник ветеринарии. 2022. № 4. С. 241—246. doi: 10.52419/issn2072-2419.2022.4.241
15. Григорьева И.И., Раскина Т.А., Летаева М.В., Мальшенко О.С., Аверкиева Ю.В., Масенко В.Л., Коков А.Н. Саркопения: особенности патогенеза и диагностики // Фундаментальная и клиническая медицина. 2019. Т. 4. № 4. С. 105—116.
16. Ferreri A.J.M., Ernberg I., Copie-Bergman C. Infectious agents and lymphoma development: molecular and clinical aspects // J. Vet. Intern. Med. 2009. Vol. 265. № 4. P. 421—438. doi: 10.1111/j.1365-2796.2009.02083.x
17. Louwerens M., London C.A., Pedersen N.C., Lyons L.A. Feline lymphoma in the post-feline leukemia virus era // J. Vet. Intern. Med. 2005. № 19. P. 329—335. doi: 10.1892/0891-6640(2005)19[329:flitpl]2.0.co;2
18. Stein T.J., Pellin M., Steinberg H., Chun R. Treatment of feline gastrointestinal small-cell lymphoma with chlorambucil and glucocorticoids // J. Am. Anim. Host. Assoc. 2010. № 46. P. 413—417. doi: 10.5326/0460413

References

1. Atabaeva TK, Goncharova AV, Kostylev VA. Ultrasonographic prerequisites and substantiation of stages of intestinal lymphoma development in cats. *Veterinariya. Zootekhnika i biotekhnologiya*. 2023;2(12):31—37. (In Russ.). doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202312203

2. Atabaeva TK, Goncharova AV, Kostylev VA Analysis of anamnestic data and their role in occurrence and development of intestinal lymphoma in cats. *Bulletin of Altai state agricultural university*. 2023;(3):75—79. (In Russ.). doi: 10.53083/1996-4277-2023-221-3-75-79
3. Gnezdilova LA, Panin AN, Pozyabin SV, Selina MV, Borunova SM. Diagnosis and prevention of infectious animal diseases based on monitoring, molecular diagnostics, and genomics. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science*. 2022;12(3):459—470. doi: 10.31407/ijeecs12.358
4. Mazurov VI, Krivolapov YA. Classification of lymphomas. Morphology, immunophenotype, molecular genetics of non-Hodgkin's lymphomas. *Practical oncology*. 2004;5(3):169—175. (In Russ.).
5. Andreenko AA, Pozyabin SV. Features of diagnosis obstruction of the digestive tract in cats. *Veterinariya. Zootekhnika i biotekhnologiya*. 2016;(1):6—11. (In Russ.).
6. Krivchikova YM. Estimation of selected biochemical blood parameters in patients with breast cancer undergoing chemotherapy with taxanes. *Scientific result. Physiology Series*. 2016;2(1):36—41. (In Russ.). doi: 10.18413/2409-0298-2016-2-1-36-41
7. Vilms DA. Hematological manifestations of paraneoplastic syndromes in dogs. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2024;(1):381—391. (In Russ.). doi: 10.52419/issn2072-2419.2024.1.381
8. Frantsyants EM, Bandovkina VA, Kushtova LB, Nikolaeva NV, Lysenko IB, Pushkareva TF, et al. Possibility of predicting the development of relapse in diffuse large B-cell lymphoma using indicators of a general blood test. *Modern problems of science and education*. 2021;(3):169. (In Russ.). doi: 10.17513/spno.30935
9. Vail DM, Moore AS, Ogilvie GK, Volk LM. Feline lymphoma (145 cases): proliferation indices, cluster of differentiation 3 immunoreactivity and their association with prognosis in 90 cats. *J Vet Intern Med*. 1998;12(5):349—354. doi: 10.1111/j.1939-1676.1998.tb02134.x
10. Barrs V, Beatty J. Feline alimentary lymphoma: 1. Classification, risk factors, clinical signs and non-invasive diagnostics. *Journal of Feline Medicine and Surgery*. 2012;14(3):182—190. doi: 10.1177/1098612X12439265
11. Kiselow MA, Rassnick KM, McDonough SP, Goldstein RE, Simpson KW, Weinkle TK, et al. Outcome of cats with low-grade lymphocytic lymphoma: 41 cases (1995–2005). *J Am Vet Med Assoc*. 2008;232(3):405—410. doi: 10.2460/javma.232.3.405
12. Vail DM, Thamm DH, Liptak JM. *Small animal clinical oncology*. 6th ed. Withrow & MacEwen's; 2020.
13. Sykes JE. *Greene's infectious diseases of the dog and cat*. 5th ed. Elsevier Health Sciences; 2022.
14. Lenkova NV, Wolf AV. Characteristics of functional and laboratory parameters in alimentary lymphoma in cats. *International Journal of Veterinary Medicine*. 2022;(4):241—246. (In Russ.). doi: 10.52419/issn2072-2419.2022.4.241
15. Grigorieva II, Raskina TA, Letaeva MV, Malyshenko OS, Averkieva YV, Masenko VL, et al. Sarcopenia: pathogenesis and diagnosis. *Fundamental and Clinical Medicine*. 2019;4(4):105—116. (In Russ.). doi: 10.23946/2500-0764-2019-4-4-105116
16. Ferreri AJM, Ernberg I, Copie-Bergman C. Infectious agents and lymphoma development: molecular and clinical aspects. *J Vet Intern Med*. 2009;265(4):421—438. doi: 10.1111/j.1365-2796.2009.02083.x
17. Louwerens M, London CA, Pedersen NC, Lyons LA. Feline lymphoma in the post-feline leukemia virus era. *J Vet Intern Med*. 2005;19(3):329—335. doi: 10.1892/0891-6640(2005)19[329: flitpl]2.0.co;2
18. Stein TJ, Pellin M, Steinberg H, Chun R. Treatment of feline gastrointestinal small-cell lymphoma with chlorambucil and glucocorticoids. *J Am Anim Host Assoc*. 2010;46(6):413—417. doi: 10.5326/0460413

Об авторах:

Гончарова Анна Витальевна — доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры ветеринарной хирургии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: annatruxhan@mail.ru
ORCID: 0000-0002-2142-2507 SPIN-код: 9362-5847

Атабаева Татьяна Константиновна — аспирант, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: tanya-atabaeva@yandex.ru

ORCID: 0009-0008-5749-7050

Костылев Владислав Алексеевич — кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры ветеринарной хирургии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: vetsurgery1@gmail.ru

ORCID: 0000-0003-1405-4213 SPIN-код: 9017-6331

About authors:

Goncharova Anna Vitalievna — Doctor of Veterinary Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Veterinary Surgery, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, 23 Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: annatrukhan@mail.ru

ORCID: 0000-0002-2142-2507 SPIN-code: 9362-5847

Atabaeva Tatiana Konstantinovna — PhD student, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, 23 Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: tanya-atabaeva@yandex.ru

ORCID: 0009-0008-5749-7050

Kostylev Vladislav Alekseevich — Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Veterinary Surgery, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, 23 Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: vetsurgery1@gmail.ru

ORCID: 0000-0003-1405-4213 SPIN-code: 9017-6331



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-696-706

УДК 619:616.617-089:636.8

EDN CUHTEM

Научная статья / Research article

Контроль постоперационного состояния кошек при односторонней обструкции мочеточника

В.А. Люст^{1, 2}  , Г.Э. Шейдт^{1, 2} ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Сеть ветеринарных клиник «АлисаВет», г. Москва, Российская Федерация 1142220008@pfur.ru

Аннотация. Лечение острой пострентальной обструкции мочеточника включает в себя как хирургические методики с целью разрешить обструкцию, так и медикаментозное лечение, которое во многом влияет на период восстановления пациента. Основная цель в послеоперационный период заключается в снижении показателей азотемии у данных пациентов с применением жидкостной терапии, антибиотикотерапии и альфа 1-андреноблокаторов для расслабления гладкомышечной мускулатуры уретры. Цель исследования — изучить влияние на восстановление показателей крови пациентов в послеоперационный период замены в жидкостной терапии, рассчитанной по формуле дефицитного и поддерживающего объема, $\frac{1}{4}$ всего объема кристаллоидных растворов коллоидными растворами и плазмой крови, а также влияние увеличения объема онкотического давления на эффективность снижения азотемии. Отобрано 3 группы по 3 пациента с показателями креатинина в пределах 700...1000 мкмоль/л. Всем проведено оперативное вмешательство в виде реимплантации мочеточников, которая разрешила причину обструкции. Далее в течение 14 дней после оперативного вмешательства и на 3, 5, 7, 14-й день от даты наблюдения отслеживали показатели крови на анализаторах DRI-CHEM NX500 и общеклиническом анализаторе Neska Element HT5. Во всех группах снизились показатели азотемии. Однако были различия в эффективности снижения. Пациенты, получавшие кристаллоидный раствор, показали самое эффективное снижение азотемии в отличие от пациентов, получавших жидкостную терапию с белковыми включениями. Однако жидкостная терапия с плазмой крови в протоколе показала чуть лучшее снижение, чем на коллоидном растворе. Вывод: препараты, содержащие белковые включения, не являются препаратами выбора в случае коррекции состояния у кошек при доброкачественной односторонней обструкции мочеточника.

Ключевые слова: послеоперационный период, азотемия, анализ крови, коллоидный раствор, плазма, жидкостная терапия, препараты с белковыми включениями

Вклад авторов. Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении исследования и анализе результатов, ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

© Люст В.А., Шейдт Г.Э., 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 8 июля 2024 г., принята к публикации 9 октября 2024 г.

Для цитирования: Люст В.А., Шейдт Г.Э. Контроль постоперационного состояния кошек при односторонней обструкции мочеточника // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. С. 696—706. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-696-706

Control of the postoperative condition of cats with unilateral ureteral obstruction

Vladislav A. Lust^{1, 2}  , Grigory E. Scheidt^{1, 2} 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²AlisaVet veterinary clinics network, Moscow, Russian Federation

 1142220008@pfur.ru

Abstract. Treatment of acute postrenal ureteral obstruction is a rather complicated, but extremely necessary process. It includes both surgical techniques to resolve the obstruction, and drug treatment, which largely affects the patient's recovery period. The main goal in the postoperative period is to reduce the indicators of azotemia in these patients. Its main aspects are liquid therapy, antibiotic therapy and alpha 1-adrenoblockers to relax the smooth muscle of the urethra. The objective of the research was to study how the replacement of ¼ of the total volume of crystalloid solutions in liquid therapy, calculated according to the formula of deficient and supportive volume, with colloidal solutions and blood plasma affects the restoration of blood parameters in the postoperative period; how an increase in the volume of oncotic pressure affects the effectiveness of reducing azotemia in patients in the postoperative period. 3 groups of 3 patients with creatinine values in the range of 700–1000 mmol/L were selected. All underwent surgery in the form of ureteral reimplantation, which resolved the cause of the obstruction. Further, blood counts were monitored on DRI-CHEM NX500 analyzers and the Heska Element HT5 general clinical analyzer for 14 days after surgery and on 3,5,7,14 days from the date of observation. All groups showed a decrease in azotemia. However, there were differences in the effectiveness of the reduction. Patients receiving a crystalloid solution showed the most effective reduction of azotemia, unlike patients receiving liquid therapy, which includes protein inclusions. However, liquid therapy with blood plasma in the protocol showed a slightly better decrease than with colloidal solution. We conclude that drugs containing protein inclusions are not the drugs of choice in the case of correction of the condition in cats with benign unilateral ureteral obstruction.

Keywords: postoperative period, azotemia, blood test, colloidal solution, plasma, fluid therapy, drugs with protein inclusions

Authors' contribution. All the authors were directly involved in the planning, performing the study and analysis of the results. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interest.

Article history: Received: 8 July 2024. Accepted: 9 October 2024.

For citation: Lust VA, Scheidt GE. Control of the postoperative condition of cats with unilateral ureteral obstruction. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):696—706. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-696-706

Введение

Лечение острой постренальной обструкции мочеточника — достаточно сложный, но крайне необходимый процесс. Отсутствие свободного оттока мочи из лоханки почки в мочевой пузырь негативно сказывается на состоянии кошки, что сопровождается нарушением электролитного баланса, накоплением продуктов азотистого основания, а на более поздних стадиях заболевания, когда происходит патологическое изменение структур почек, приводит к гипертензии и нарушению эритропоэза. Поэтому важно уметь разрешить острую постренальную недостаточность и отследить дальнейшую жизнь пациентов в краткосрочный период [1]. Данная патология имеет неспецифические клинические признаки, такие как вялость, снижение аппетита, рвота, полиурия, полидипсия, потеря веса, вместе с этим проявляется гематурией, странгурией, поллакиурией, недержанием и неадекватным мочеиспусканием [2—5]. Лечение обструкции мочеточника требует применения инфузионной терапии сбалансированными изотоническими кристаллоидами для восстановления внутрисосудистого объема, и правильная дегидратация должна быть основана на параметрах физического осмотра, включая вес, состояние кожи в виде тургора и слизистых оболочек, признаки интерстициального отека [4—7]. Использование жидкостей, содержащих белковые включения, может увеличить общий объем циркулирующей крови. Так как эти жидкости задерживаются в кровотоке и не уходят в третье пространство в организме, тем самым увеличив объем крови, проходящий через почку. После проведения хирургического вмешательства пациенты продолжают получать инфузионную терапию с целью снижения азотемии, состояние отслеживается лабораторными и инструментальными методами для коррекции терапевтического лечения и выявления возможных осложнений в результате лечения [8]. Однако не до конца изучено применение коллоидных растворов или плазмы крови совместно с кристаллоидами в терапии при односторонней обструкции мочеточников.

Цель исследования — представить анализ постоперационного состояния кошек при обструкции мочеточника с разной жидкостной терапией.

Материалы и методы исследования

В ветеринарную клинику «Алисавет» с 01.09.2022 по 03.08.2023 г. поступило 9 кошек с острой постренальной недостаточностью, связанной с обструкцией мочеточника. Пациентов разделили на 3 основных группы. Все пациенты в 3 группах на момент исследования имели креатинин в пределах 700...1000 мкмоль/л. Во всех группах в протоколе лечения обязательно присутствовал антибиотик пенициллинового ряда для профилактики развития сопутствующей инфекции [9—11]. Пациенты получали его в дозировке 20 мг/кг 2 раза в сутки, а также корнам 0,5 мг в сутки в независимости от веса пациента — для расслабления гладкой мускулатуры и увеличения шансов продвижения конкрементов в мочеточниках [2, 12, 13]. Также в случае гиперкалиемии применялась смесь инсулина и глюкозы [14].

В первой группе пациенты получали до и после операции инфузионную терапию, включающую раствор стерофундина для коррекции дегидратации и элек-

тролитных нарушений [4, 6, 7]. Рассчитывали из 3 составляющих дефицитный объем (ДО) циркулирующей крови, продолжающиеся потери, поддерживающий объем (ПО). ДО считали по формуле

$$\text{ДО} = \% \text{ Дегидратации} \times \text{масса тела, кг} \times 8.$$

Легкой считалась дегидратация 5...6 %, средней — 7...10 %, тяжелой — 10...12 %, крайне тяжелой — больше 12 %. Продолжающиеся терапия рассчитывалась при присутствии диареи, рвоты 1—2 мл/кг/ч. ПО считали по формуле

$$\text{ПО} = 30 \times \text{Масса тела, кг} + 70.$$

Весь объем необходимой инфузии с одной скоростью поступал все 24 часа в сутки. Перерасчет объема необходимой инфузии производили ежедневно.

Во второй группе объем жидкостной терапии рассчитывали по той же формуле, что и в первой, но полученный объем жидкости снижали на 25 %, и 25 % от полученного объема заменяли на плазму крови.

Стерофундин: $30 \times \text{Масса тела, кг} + 70 + \% \text{ дегидратации} \times \text{масса тела, кг} \times 0,75$.

Плазма: $0,25 \times (30 \times \text{Масса тела, кг} + 70) + \% \text{ дегидратации} \times \text{масса тела, кг} \times 8$.

В третьей группе объем жидкостной терапии рассчитывали по той же формуле, что и в первой, но полученный объем жидкости снижали на 25 %, и 25 % от полученного объема заменяли на коллоидный раствор.

Стерофундин: $30 \times \text{Масса тела, кг} + 7 + \% \text{ дегидратации} \times \text{масса тела, кг} \times 8 \times 0,75$.

Реополиглюкин: $0,25 \times (30 \times \text{Масса тела, кг} + 70) + \% \text{ дегидратации} \times \text{масса тела, кг} \times 8$.

Реимплантация мочеточника по Боари включает срединную лапаротомию. Визуально определяют место обструкции, проксимальнее места обструкции проводили пересечение мочеточника (рис. 1, 2). Дистальный отдел коагулировали и накладывали лигатуру из нерассасывающегося шовного материала. Проксимальный отдел проверяли на отток мочи из почки. Далее производили цистотомию с формированием п-образного лоскута из стенки мочевого пузыря (рис. 3). В месте предполагаемого анастомоза мочеточника и мочевого пузыря делали отверстие в стенке мочевого пузыря. На конец проксимального отдела мочеточника устанавливали швы-держалки, и с их помощью мобилизовали мочеточник в мочевой пузырь в место будущего анастомоза. Накладывали простые узловатые швы из нерассасывающегося монофиламентного шовного материала Монокрил № 7/0 на мочеточник и стенку мочевого пузыря для создания анастомоза (рис. 4). Выполняли непрерывный шов в месте цистотомии. Производили цитопексию к стенке брюшной полости к той почке, от которой мочеточник был обструктирован. Выполняли ревизию наполнения мочевого пузыря. Затем послойно ушивали операционную рану [8, 15].



Рис. 1. Мочеточник (визуализируем мочеточник в забрюшинном пространстве)
Источник: выполнил фото В.А. Люст.

Fig. 1. Ureter (visualizing the ureter in the retroperitoneal space)
Source: photo by V.A. Lust.



Рис. 2. Пересеченный мочеточник проксимальнее места обструкции
Источник: выполнил фото В.А. Люст.

Fig. 2. Transected ureter proximal to the obstruction site
Source: photo by V.A. Lust.



Рис. 3. П-образный лоскут из стенки мочевого пузыря (лоскут из стенки мочевого пузыря, в котором делается отверстия и с внешней стороны заводится конец мочеточника)

Источник: выполнил фото В.А. Люст.

Fig. 3. U-shaped flap from the wall of the urinary bladder (a flap from the wall of the urinary bladder in which holes are made and the end of the ureter is inserted from the outside)

Source: photo by V.A. Lust.

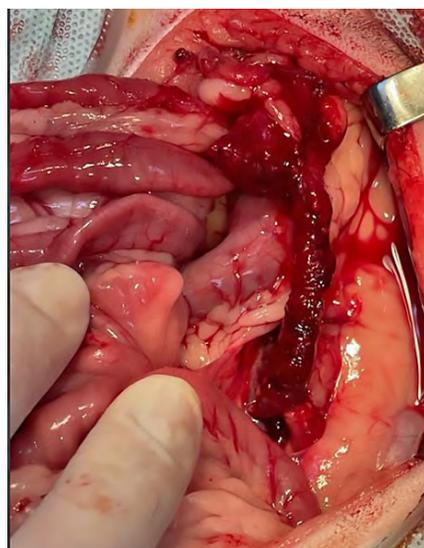


Рис. 4. Анастомоз мочевого пузыря и мочеточника по Боари (подшитый мочеточник с внутренней стороны мочевого пузыря и сшитый п-образного лоскута трубкой)

Источник: выполнил фото В.А. Люст.

Fig. 4. Anastomosis of the urinary bladder and ureter according to Boari (the ureter is sutured from the inner side of the urinary bladder and the U-shaped flap is sutured with a tube)

Source: photo by V.A. Lust.

В последующем отслеживали пациентов в течение 14 суток в день операции и на 3, 5, 7, 14-е сутки после операции. Оценивали такие показатели, как концентрация мочевины и креатинина в сыворотке крови, эритроциты, гематокрит, гемоглобин с лейкоцитами также отслеживали. Все исследования проводили на биохимическом анализаторе DRI-CHEM NX500 и общеклиническом анализаторе Heska Element HT5.

Весь статистический анализ проводили на персональном компьютере с использованием программы Microsoft Excel (Analysis ToolPak).

Результаты исследований и обсуждения

Исследования показали разнонаправленные, ярко выраженные результаты в трех группах. После операции выживаемость составила 100 %. У данных пациентов в течение 14 дней отмечалось улучшение общего состояния, что коррелировало с положительной динамикой всех показателей крови. Выживаемость в течение 14 дней составила 100 % (табл.).

Динамика показателей крови в постоперационный период

Показатели	Сутки	ФП	Группы животных $M \pm m$		
			1-я группа	2-я группа	3-я группа
Мочевина, ммоль/л	До операции	3,28...10,24	31,5 ± 2,1	32,0 ± 1,2	31,0 ± 1,3
	После операции		24,2 ± 2,8	23,8 ± 2,0	27,6 ± 1,3
	3		20,1 ± 0,1	20,8 ± 2,0	22,6 ± 2,8
	5		19,0 ± 0,5	19,3 ± 0,2	20,8 ± 3,0
	7		16,6 ± 1,7	16,7 ± 1,6	18,1 ± 2,1
	14		13,3 ± 1,7	14,5 ± 1,4	16,7 ± 1,5
Креатинин, мкмоль/л	До операции	35...124	853,5 ± 70,0	942,1 ± 16,9	930,0 ± 32,8
	После операции		396,0 ± 36,0	422,9 ± 29,8	489,2 ± 10,6
	3-й день		291,6 ± 13,1	309,9 ± 5,2	354,5 ± 6,1
	5-й день		219,1 ± 27,5	245,2 ± 25,9	257,7 ± 10,3
	7-й день		145,9 ± 12,1	151,7 ± 4,8	189,3 ± 11,1
	14-й день		85,8 ± 5,9	114,5 ± 10,7	122,8 ± 14,6
Гематокрит, ht	До операции	0,29...0,45	35,9 ± 6,9	27,3 ± 0,7	27,3 ± 0,7
	После операции		27,6 ± 4,9	26,7 ± 2,4	24,7 ± 1,3
	3-й день		28,4 ± 2,5	25,7 ± 2,5	25,7 ± 1,3
	5-й день		30,9 ± 3,8	25,1 ± 1,7	27,0 ± 1,7
	7-й день		34,0 ± 2,5	26,2 ± 2,9	28,3 ± 0,9
	14-й день		31,1 ± 1,8	28,3 ± 2,2	29,3 ± 1,0

Окончание табл.

Показатели	Сутки	ФП	Группы животных $M \pm m$		
			1-я группа	2-я группа	3-я группа
Эритроциты, млн/мкл	До операции	5,0...10,0	8,7 ± 1,5	7,3 ± 0,5	6,8 ± 0,8
	После операции		6,7 ± 0,7	6,7 ± 0,3	6,1 ± 0,7
	3-й день		6,4 ± 1,8	6,5 ± 0,7	6,5 ± 0,6
	5-й день		7,8 ± 1,2	6,7 ± 0,8	6,8 ± 0,5
	7-й день		8,9 ± 1,1	6,8 ± 0,8	7,2 ± 0,3
	14-й день		9,0 ± 0,5	7,4 ± 0,6	7,6 ± 0,5
Гемоглобин, г/л	До операции	90...150	118,6 ± 14,4	116,1 ± 11,4	116,0 ± 11,3
	После операции		91,4 ± 9,1	98,8 ± 1,5	100,5 ± 1,8
	3-й день		88,3 ± 9,0	89,4 ± 2,2	86,6 ± 5,3
	5-й день		89,8 ± 8,1	87,1 ± 3,1	82,0 ± 8,4
	7-й день		100,8 ± 1,4	88,1 ± 2,7	87,0 ± 2,9
	14-й день		123,5 ± 2,7	103,1 ± 3,0	92,9 ± 2,2
Лейкоциты, тыс/мкл	До операции	6...18	10,1 ± 0,5	10,0 ± 1,1	10,8 ± 0,3
	После операции		12,1 ± 1,2	11,1 ± 0,9	11,5 ± 0,7
	3-й день		11,7 ± 0,7	10,8 ± 0,6	11,2 ± 0,9
	5-й день		12,2 ± 2,0	11,7 ± 0,7	11,3 ± 0,2
	7-й день		14,6 ± 1,2	10,6 ± 0,6	11,3 ± 0,2
	14-й день		12,2 ± 0,4	10,5 ± 0,6	11,3 ± 0,8

Примечание. ФП – физиологический показатель; $p < 0,05$ по отношению к ФП.

Источник: выполнил В.А. Люст.

Dynamics of blood parameters in the postoperative period

Parameter	Day	FI	Animal groups $M \pm m$		
			Group I	Group II	Group III
Urea, mmol/L	Before surgery	3.28...10.24	31.5 ± 2.1	32.0 ± 1.2	31.0 ± 1.3
	After surgery		24.2 ± 2.8	23.8 ± 2.0	27.6 ± 1.3
	3		20.1 ± 0.1	20.8 ± 2.0	22.6 ± 2.8
	5		19.0 ± 0.5	19.3 ± 0.2	20.8 ± 3.0
	7		16.6 ± 1.7	16.7 ± 1.6	18.1 ± 2.1
	14		13.3 ± 1.7	14.5 ± 1.4	16.7 ± 1.5
Creatinine, $\mu\text{mol/L}$	Before surgery	35...124	853.5 ± 70.0	942.1 ± 16.9	930.0 ± 32.8
	After surgery		396.0 ± 36.0	422.9 ± 29.8	489.2 ± 10.6
	3		291.6 ± 13.1	309.9 ± 5.2	354.5 ± 6.1
	5		219.1 ± 27.5	245.2 ± 25.9	257.7 ± 10.3
	7		145.9 ± 12.1	151.7 ± 4.8	189.3 ± 11.1
	14		85.8 ± 5.9	114.5 ± 10.7	122.8 ± 14.6
Hematocrit, ht	Before surgery	0.29...0.45	35.9 ± 6.9	27.3 ± 0.7	27.3 ± 0.7
	After surgery		27.6 ± 4.9	26.7 ± 2.4	24.7 ± 1.3
	3		28.4 ± 2.5	25.7 ± 2.5	25.7 ± 1.3
	5		30.9 ± 3.8	25.1 ± 1.7	27.0 ± 1.7
	7		34.0 ± 2.5	26.2 ± 2.9	28.3 ± 0.9
	14		31.1 ± 1.8	28.3 ± 2.2	29.3 ± 1.0

Ending table

Erythrocytes, million/ μ l	Before surgery	5.0...10.0	8.7 \pm 1.5	7.3 \pm 0.5	6.8 \pm 0.8
	After surgery		6.7 \pm 0.7	6.7 \pm 0.3	6.1 \pm 0.7
	3		6.4 \pm 1.8	6.5 \pm 0.7	6.5 \pm 0.6
	5		7.8 \pm 1.2	6.7 \pm 0.8	6.8 \pm 0.5
	7		8.9 \pm 1.1	6.8 \pm 0.8	7.2 \pm 0.3
	14		9.0 \pm 0.5	7.4 \pm 0.6	7.6 \pm 0.5
Hemoglobin, g/L	Before surgery	90...150	118.6 \pm 14.4	116.1 \pm 11.4	116.0 \pm 11.3
	After surgery		91.4 \pm 9.1	98.8 \pm 1.5	100.5 \pm 1.8
	3		88.3 \pm 9.0	89.4 \pm 2.2	86.6 \pm 5.3
	5		89.8 \pm 8.1	87.1 \pm 3.1	82.0 \pm 8.4
	7		100.8 \pm 1.4	88.1 \pm 2.7	87.0 \pm 2.9
	14		123.5 \pm 2.7	103.1 \pm 3.0	92.9 \pm 2.2
Leukocytes, thousand/ μ l	Before surgery	6...18	10.1 \pm 0.5	10.0 \pm 1.1	10.8 \pm 0.3
	After surgery		12.1 \pm 1.2	11.1 \pm 0.9	11.5 \pm 0.7
	3		11.7 \pm 0.7	10.8 \pm 0.6	11.2 \pm 0.9
	5		12.2 \pm 2.0	11.7 \pm 0.7	11.3 \pm 0.2
	7		14.6 \pm 1.2	10.6 \pm 0.6	11.3 \pm 0.2
	14		12.2 \pm 0.4	10.5 \pm 0.6	11.3 \pm 0.8

Note. FI is a physiological indicator; $p < 0.05$ in relation to FP.

Source: completed by V.A. Lust.

Изменения показателей мочевины в 3 группах статистически достоверны, из чего следует, что оперативное вмешательство и инфузионная терапия влияют на полученный результат. В первой группе показатели мочевины значительно быстрее снижались на фоне жидкостной терапии по сравнению со второй и третьей группой. Вторая группа показала лучший результат по сравнению с третьей группой. В первой группе снижение показателей мочевины с первого по последний день изменилось на 136 %; во второй — 120 %; в третьей — 85 %. Показатель креатинина значительно и статистически достоверно изменялся во всех трех группах. Этот показатель пришел в референсные значения во всех трех группах на конец исследования. Однако первая группа, получавшая инфузионную терапию, показала нормальные значения на 7-й день наблюдения, в отличие от второй и третьей. Во второй и третьей группе положительная динамика наблюдалась на всем протяжении исследования, хотя третья группа показывала менее эффективное снижение этого показателя, однако в конце исследования на 14-й день, значения уже были в пределах ФП. В исследовании исходили из того, чтобы уменьшить объем кристаллоидной жидкостной терапии, заменив коллоидной, которая будет увеличивать коллоидно-осмотическое давление в сосудах и снизит выведение кристаллоидного раствора в третье пространство, тем самым увеличив общий объем, циркулирующий крови в организме, благодаря этому увеличить скорость

образования мочи, так как кристаллоидный раствор будет дольше поддерживаться в кровотоке. Однако плазма таким эффектом обладает в меньшей степени, чем синтетический коллоидный раствор [10, 16]. В результате эффективность снижения азотемии у плазмы чуть выше так, как он более тождествен составу стерофундина.

Значения гематокрита в первой и второй группе при статистическом анализе оказались недостоверными, из чего следует, что оперативное вмешательство и инфузионная терапия не дали значительных изменений. Однако в третьей группе этот показатель оказался достоверным. В первый день после операции показатель гематокрита упал на 10 %, но через 14 дней показатель вернулся к исходным значениям и даже показал рост на 7,3 %.

Эритроциты во всех трех группах при исследовании не показали статистически достоверных значений, из чего следует, что хирургическое вмешательство и инфузионная терапия не привели к статистически значимым и достоверным изменениям этого показателя.

Гемоглобин при исследовании после операции снижался в среднем на 14...23 % от исходных значений. Однако на 14-й день во всех 3 группах показатель гемоглобина пришел в референсные значения. Только в первой группе гемоглобин достиг их на 5-й день исследования, во второй и третьей группе — на 14-й день измерения.

Такие показатели крови, как гематокрит, эритроциты и гемоглобин, во всех группах вели себя относительно одинаково, хотя статистически не все могли быть достоверными. Однако снижение значений этих показателей после хирургического вмешательства во многом напрямую связано с кровопотерей во время операции. Так как эритропоэз у таких пациентов не страдал, то данные показатели со временем приходили в норму без применения препаратов, стимулирующих этот процесс.

Лейкоциты во всех трех группах после проведенных операций повышались, но не более чем на 20 % от исходного значения. Впоследствии их значения не росли, а наоборот, даже чуть уменьшались, однако на протяжении всего исследования оставались в референсном диапазоне, по этой причине сложно оценивать значимость изменений этого показателя на фоне разных жидкостных терапий.

Заключение

Пациенты с односторонней обструкцией мочеточника, которым провели операцию реимплантации мочеточника по Боари, имели положительную динамику в показателях концентрации мочевины и креатинина в сыворотке крови. Однако проведение различной жидкостной терапии в послеоперационный период обусловило разницу во времени на восстановление референсных значений показателей крови. Первая группа на фоне жидкостной терапии, состоящей исключительно из кристаллоидов, а именно стерофундина, рассчитанного по формуле поддерживающего и дефицитного объема, показала более эффективное снижение азотемии на всем периоде исследования. На 14-й день исследования первая группа, в отличие от второй и третьей, уже показала устойчивые референсные значения креатинина. Вторая и третья группы получали жидкостную терапию с заменой $\frac{1}{4}$ всего объема

кристаллоидных растворов в жидкостной терапии, рассчитанной по формуле дефицитного и поддерживающего объема, на плазму крови и коллоидный раствор. И эффективность снижения азотемии у второй группы, получавшей плазму крови, более схожую с кристаллоидным раствором, чем коллоидный, лучше, по сравнению с третьей группой. Вывод: для эффективного улучшения показателей крови не требуется добавление препаратов, основанных на белковых включениях, таких как плазма крови и коллоидный раствор; в жидкостной терапии препаратом выбора является кристаллоидный раствор.

Список литературы / References

1. Clarke DL. Feline ureteral obstructions Part 1: medical management. *J Small Anim Pract.* 2018;59(6):324–333. doi: 10.1111/jsap.12844
2. Berent AC, Weisse CW, Todd KL, Bagley DH. Use of locking-loop pigtail nephrostomy catheters in dogs and cats: 20 cases (2004–2009). *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 2012;241(3):348–335. doi: 10.2460/javma.241.3.348
3. Holloway A, O'Brien, R. Perirenal effusion in dogs and cats with acute renal failure. *Veterinary Radiology & Ultrasound.* 2007;48(6):574–579. doi: 10.1111/j.1740-8261.2007.00300.x
4. Myburgh, JA, Finfer S, Bellomo R, Billot L, Cass A, Gattas D, et al. Hydroxyethyl starch or saline for fluid resuscitation in intensive care. *The New England Journal of Medicine.* 2012;367(20):1901–1911. doi: 10.1056/NEJMoa1209759
5. Widmer WR, Biller DS, Adams LG. Ultrasonography of the urinary tract in small animals. *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 2004;225(1):46–54. doi: 10.2460/javma.2004.225.46
6. Guidet B, Martinet O, Boulain T, Philippart F, Poussel JF, Maizel J, et al. Assessment of hemodynamic efficacy and safety of 6 % hydroxyethylstarch 130/0.4 vs. 0.9 % NaCl fluid replacement in patients with severe sepsis: the CRYSTMAS study. *Critical Care.* 2012;16: R94. doi: 10.1186/cc11358
7. Langston C, Eatroff A. Acute kidney injury. In: Silverstein DC, Hopper K. (eds.) *Small Animal Critical Care Medicine.* 2nd ed. St Louis, MO, USA: Saunders Elsevier; 2015. p.665–660.
8. Clarke DL. Feline ureteral obstructions Part 2: surgical management. *Journal of Small Animal Practice.* 2018;59(7):385–397. doi: 10.1111/jsap.12861
9. Kyles AE, Hardie EM, Wooden BG, Adin CA, Stone EA, Gregory CR, et al. Clinical, clinicopathologic, radiographic, and ultrasonographic abnormalities in cats with ureteral calculi: 163 cases (1984–2002). *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 2005;226(6):932–936. doi: 10.2460/javma.2005.226.932
10. Snow SJ, Ari Jutkowitz LA, Brown AJ. Retrospective Study: Trends in plasma transfusion at a veterinary teaching hospital: 308 patients (1996–1998 and 2006–2008). *J Vet Emerg Crit Care.* 2010;20(4):441–445. doi: 10.1111/j.1476-4431.2010.00557.x
11. Wormser C, Clarke DL, Aronson LR. Outcomes of ureteral surgery and ureteral stenting in cats: 117 cases (2006–2014). *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 2016;248(5):518–525. doi: 10.2460/javma.248.5.518
12. Achar E, Achar RA, Paiva TB, Campos AH, Schor N. Amitriptyline eliminates calculi through urinary tract smooth muscle relaxation. *Kidney International.* 2003;64(4):1356–1364. doi: 10.1046/j.1523-1755.2003.00222.x
13. Zobbea VB, Rygaard H, Rasmussen D, Strandberg C, Krause S, Hartsen SH, et al. Glucagon in acute ureteral colic. *European Urology.* 1986;12(1):28–31. doi: 10.1159/000472572
14. Jones JM, Burkitt-Creedon JM, Epstein SE. Treatment strategies for hyperkalemia secondary to urethral obstruction in 50 male cats: 2002–2017. *Journal of Feline Medicine and Surgery.* 2022;24(12): e580-e587. doi: 10.1177/1098612X221127234

15. White C, Stifelman M. Ureteral Reimplantation, Psoas Hitch, and Boari Flap. *J Endourol.* 2020;34(S1): S25–S30. doi: 10.1089/end.2018.0750

16. Concannon KT. Colloid oncotic pressure and the clinical use of colloidal solutions. *Journal of Veterinary Emergency and Critical Care.* 1993;3(2):49–62. doi: 10.1111/j.1476-4431.1993.tb00102.x

Об авторах:

Люст Владислав Андреевич — аспирант, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ветеринарный врач-хирург, сеть ветеринарных клиник «АлисаВет», Российская Федерация, 119634, г. Москва, ул. Чоботовская, д. 17, к. 1; e-mail: 1142220008@pfur.ru
ORCID: 0009-0003-7605-120X

Шейдт Григорий Эдуардович — аспирант, Российский университет дружбы народов, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; ветеринарный врач-хирург, сеть ветеринарных клиник «АлисаВет», Российская Федерация, 127322, г. Москва, ул. Лобачевского, д. 100; e-mail: 1032190635@pfur.ru
ORCID: 0009-0005-5312-8950

About authors:

Lust Vladislav Andreevich — postgraduate student, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; veterinary surgeon, "AlisaVet" veterinary clinics network, 17 Chobotovskaya st., bldg. 1, Moscow, 119634, Russian Federation; e-mail: 1142220008@pfur.ru

ORCID: 0009-0003-7605-120X

Scheidt Grigory Eduardovich — postgraduate student, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; "AlisaVet" veterinary clinics network, 100 Lobachevsky st., Moscow, 127322, Russian Federation; e-mail: 1032190635@pfur.ru

ORCID: 0009-0005-5312-8950



DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-707-719

UDC 619:636.8:615

EDN DETGUT

Research article / Научная статья

A study of blood parameters in rabbits with otitis caused by *Malassezia pachydermatis* and the effect of Farnesol on recovery rates when added to the treatment regimen

Ifarajimi R. Olabode¹  , Nadezhda P. Sachivkina¹ , Sergey Y. Smolentsev² ¹RUDN University, Moscow, Russian Federation²Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation 1042205126@rudn.ru

Abstract. *Malassezia* otitis is very common disease among animals. In previous years, successful, published work was carried out on modeling *Malassezia* otitis in rabbits using a *Malassezia pachydermatis* strain taken from dogs. We reproduced this experiment — we induced a clinical picture of the disease in order to try different treatment regimens on this model. The study involved 35 rabbits. The animals were divided into 7 groups of 5 rabbits each. Each group received one of the following drugs: Surolan; Otifri; Otoxolan; Surolan + Farnesol 200 µM/ml; Otifri + Farnesol 200 µM/ml; Otoxolan + Farnesol 200 µM/ml; control without treatment. All drugs were applied to the entire affected surface of the ear. The treatment was carried out once a day, the duration of treatment was 30 days. It was found that the use of drugs in combination with Farnesol in animals of the experimental group reduced the clinical signs of the disease; elimination of fungi in smears occurred more quickly; clinical parameters of rabbit blood improved.

Keywords: *Malassezia pachydermatis*, experimental otitis, clinical signs, blood test, rabbits

Authors' contribution: Sachivkina N.P. — conceptualization and methodology; Olabode I.R. — validation and investigation; Smolentsev S.Y. — data processing. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Article history: received 7 December 2024; accepted 23 December 2024.

For citation: Olabode IR, Sachivkina NP, Smolentsev SY. A study of blood parameters in rabbits with otitis caused by *Malassezia pachydermatis* and the effect of Farnesol on recovery rates when added to the treatment regimen. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2024;19(4):707–719. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-707-719

© Olabode I.R., Sachivkina N.P., Smolentsev S.Y., 2024



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

Introduction

Malassezia is a commensal fungus that constitutes the normal skin microbiota. However, under certain conditions and in certain individuals, it can transform into pathogenic yeasts with multiple associated dermatological disorders and various clinical manifestations [1, 2]. Little is known about the virulence properties and infection mechanisms of *Malassezia* spp., and the implementation of infection models may allow for the evaluation of the interaction of these yeasts with hosts, the virulence of different species or strains of a specific species, and antifungal activity [3]. There are different types of suitable models in which virulence and infection can be studied, but it is critical to realize that the results obtained in each model provide partial answers, as it was mentioned before. Therefore, it is important to study virulence properties in different *in vitro* and *in vivo* models and the results obtained can provide complementary answers [4, 5].

Contrary to *in vitro* models, the *in vivo* models mimic the complexity of the host response better [6, 7]. These are rather diverse and can vary from mammalian models to insect models. Mammalian models are phylogenetically the closest to human beings and, generally, are regarded as more accurately reproducing the host-microbe interaction, known as fidelity [8]. Additionally, many of these models are well characterized, allowing for genetic modifications to reach a desirable condition. The drawbacks of these models are the high cost of feeding and maintenance, the limited number of individuals and the need for trained personnel to handle the animals [9]. All mammalian models are limited by ethical considerations — the use of mammalian infection models must be justified and subject to institutional and national regulation. This limits the use of mammalian models to address certain questions, such as large-scale studies of strain-specific differences in virulence or screening of antifungal compounds. These drawbacks can be solved by the implementation of alternative animal models, like invertebrates.

Experimental models may prove valuable in the further elucidation of both yeast virulence and host immune factors that are important in disease processes in various species. A successful model of *Malassezia* otitis in rabbits has been developed using a *Malassezia pachydermatis* strain derived from dogs [10]. Before this, models of vaginal candidiasis in mice were developed at the Department of Microbiology of RUDN University in 2009–2010 [11]. Female mice in estrus were maintained by subcutaneous injections of the hormonal drug Mesalin (Intervet, USA). When creating dysbiosis in laboratory animals, the antibiotics doxycycline and benzylpenicillin were used.

The purpose of the study was to determine the effect of Farnesol (Far) on the treatment of *Malassezia* otitis in rabbits and prove the enhancing effect of it on antimicrobial agents.

Materials and methods

The research involved 35 healthy adult rabbits breed "Soviet chinchilla", weight 5.5 kg, males were used in experiment. Animals were divided into 7 groups of 5 animals. Each group received one of the following drugs:

1) Surolan, the active ingredients of which are: miconazole, polymyxin B, prednisolone;

2) Otifri lotion for cleaning ears with calendula which contains components such as: water, propylene glycol, emulsifier (Cremophor EL), calendula;

3) Otoxolan contains as active ingredients: marbofloxacin, clotrimazole, dexamethasone; and as auxiliary components propyl gallate, medium chain triglycerides, sorbitan oleate, anhydrous colloidal silicon oxide;

4) Surolan + Far 200 $\mu\text{M}/\text{mL}$ in equal proportion;

5) Otifri + Far 200 $\mu\text{M}/\text{mL}$ in equal proportion;

6) Otoxolan + Far 200 $\mu\text{M}/\text{mL}$ in equal proportion;

7) control.

All drugs were sprayed onto the entire affected surface of the ear (Fig. 1). The treatment was done once every day, rabbits were fixed, the duration of treatment was 30 days.



Figure 1. Spraying medications into the ear

Source: compiled by I.R. Olabode, N.P. Sachivkina, S.Y. Smolentsev.

Every five days for a month, smears of ear contents and blood samples were taken from animals in the control and 6 experimental groups and clinical signs of the disease were recorded. Blood tests were performed using the Mindray 2800Vet hematological analyzer (Mindray, China) [12].

In whole blood, the number of erythrocytes and leukocytes, hemoglobin, as well as the content of leukocytes were determined. In the study, a quantitative counter of shaped elements of animal blood was used, the percentage of different types of leukocytes was calculated in stained blood smears by a unified method [13, 14].

The results obtained were compared in the experimental and control groups with an assessment of the reliability of the differences. The parameters given in the tables

had the following designations: M is the average, m is the error of the average, n is the volume of the analyzed subgroup, p is the achieved level of significance. In all cases, the critical value of the significance level (p) was assumed to be 0.05.

Results and discussion

The use of medicinal drugs + Farnesol in the animals of the experimental group reduced the signs of hyperemia, swelling, itching, the amount of exudation on the 5–7th days of treatment, and complete clinical recovery of the animals occurred on the 20th day. When using only drugs in animals (Surolan; Otifri; Otoxolan), on average, an improvement in the clinical condition occurred on 25 days, and final recovery followed after a full course of treatment — 30 days, and then when using Otifri once a day, redness of the ears persisted. Animals in the control group maintained clear clinical signs of the disease throughout the experiment. Their condition worsened and did not recover on their own, which proves the excellent effectiveness of the MO model we developed in rabbits.

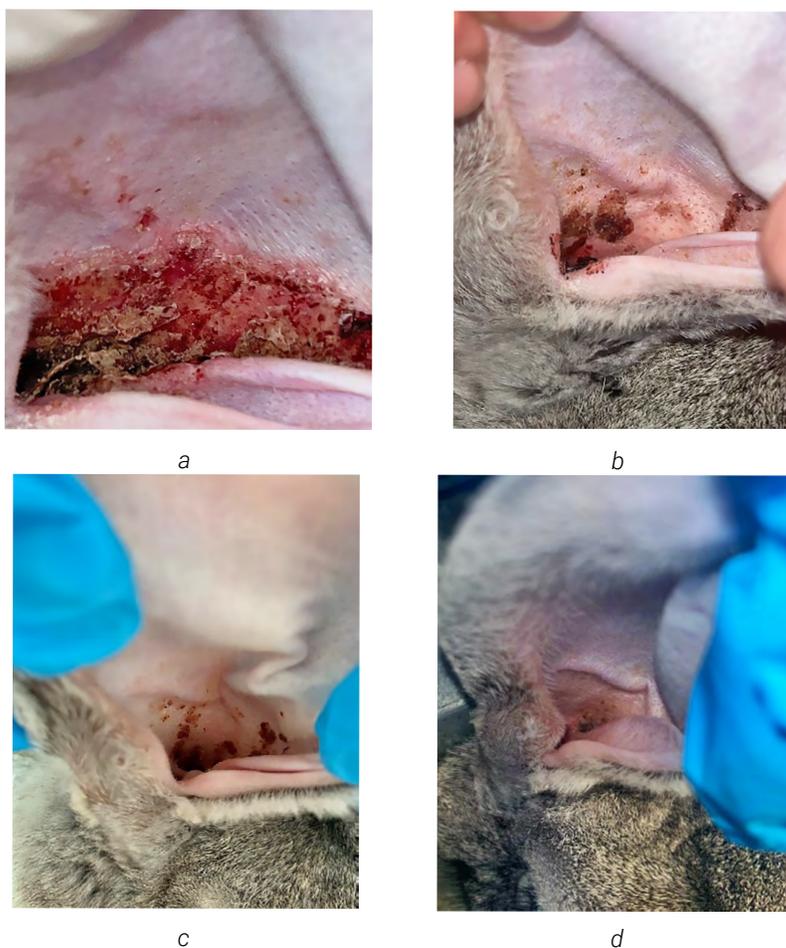


Figure 2. Recovery clinical signs on rabbits' model: a — 5 days treatment with Surolan; b — 10 days; c — 15 days; d — 20 days

Source: compiled by I.R. Olabode, N.P. Sachivkina, S.Y. Smolentsev.

Analyzing the results obtained, we can say that both treatment regimens (with and without the addition of Far) turned out to be effective, but the regimen used in the experimental group Far + Surolan/Otifri/Otoxolan gave faster results due to the wide spectrum of action of the drug Farnesol in relation to microorganisms that most often cause otitis media and its anti-inflammatory effect [2].

It is worth noting that in the experimental group there was not a single case of the presence of MP in the smear and on the nutrient medium after combination therapy with the drug + Farnesol after 20 days of therapy. And in the control group of 5 animals, all of them had fungi observed during microscopy of smears of ear exudate and were cultured on the nutrient medium in high concentrations for all 30 days of the experiment. It is important to note that when Farnesol was added to the drug, microbiological clearance from M occurred 5–10 days earlier. The best result in this series of experiments was with the combination of Otoxolan + Far, since clearing of the ears from BY was recorded on the 10th day of therapy [15, 16].

Clinical blood testing is one of the most important diagnostic methods, reflecting the reaction of the hematopoietic organs to the influence of various physiological and pathological factors; it also allows to monitor therapy effectiveness. Clinical blood parameters of rabbits with MO before treatment were characterized by low erythrocyte count values — $5.20 \pm 0.34 \cdot 10^6/\mu\text{L}$, which cannot be called anemia, but is a borderline value (Table 1–6).

Also, in sick animals, a decrease in hemoglobin was observed at the beginning — $9.18 \pm 1.07 \text{ g/dL}$. After treatment, amount of hemoglobin in blood of experimental rabbits increased to values of 10 g/dL and higher, and a significant difference was present between the experimental groups, which indicates the positive effect of Farnesol in the treatment of Malassezia otitis.

We began to observe statistically significant differences between the experimental groups by the 15–20th day of treatment. For example, number of platelets ($103/\mu\text{L}$) in blood of sick animals in control was significantly higher, but after therapy number of platelets became lower and this decrease occurred earlier in the groups with combination of the drug and Far.

Table 1

Hematological parameters in rabbits’ model on day 5 of treatment

Parameters		Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	Control
Total white blood cells, $103/\mu\text{L}$	5 days	5.78 ± 0.52	5.64 ± 0.60	5.70 ± 0.61	5.66 ± 0.60	5.74 ± 0.65	5.60 ± 0.68	6.34 ± 0.41
Lymphocytes, $103/\mu\text{L}$		2.70 ± 0.41	2.55 ± 0.40	2.62 ± 0.48	2.71 ± 0.40	2.70 ± 0.39	2.62 ± 0.41	2.71 ± 0.40
Monocytes, $103/\mu\text{L}$		0.54 ± 0.12	0.58 ± 0.15	0.52 ± 0.19	0.57 ± 0.16	0.55 ± 0.14	0.55 ± 0.12	0.60 ± 0.13
Granulocytes, $103/\mu\text{L}$, of them		3.24 ± 0.30	3.19 ± 0.39	3.18 ± 0.37	3.27 ± 0.38	3.29 ± 0.43	3.06 ± 0.35	3.28 ± 0.45
Neutrophils, $103/\mu\text{L}$		2.18 ± 0.31	2.24 ± 0.45	2.21 ± 0.40	2.10 ± 0.39	2.17 ± 0.32	2.13 ± 0.37	2.18 ± 0.32
Red blood cells, $106/\mu\text{L}$		5.51 ± 0.50	5.68 ± 0.36	5.70 ± 0.40	5.62 ± 0.37	5.22 ± 0.35	5.38 ± 0.38	5.20 ± 0.34

Ending tabl. 1

Parameters		Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	Control
Hemoglobin, g/dL	5 days	8.93 ± 0.91	8.62 ± 0.95	8.73 ± 0.94	8.56 ± 1.02	8.78 ± 0.95	8.63 ± 0.90	9.18 ± 1.07
Hematocrit, %		34.70 ± 3.46	32.71 ± 2.86	34.75 ± 3.27	36.01 ± 3.86	35.61 ± 3.06	33.70 ± 2.90	30.98 ± 2.88
Mean corpuscular volume, fL		67.95 ± 2.83	66.39 ± 2.90	69.25 ± 3.13	68.24 ± 2.93	65.25 ± 2.68	68.30 ± 2.43	68.17 ± 2.86
Mean corpuscular hemoglobin, pg		20.01 ± 0.95	19.71 ± 0.90	19.49 ± 0.96	19.81 ± 1.05	19.92 ± 0.94	19.84 ± 0.97	17.95 ± 1.07
Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/dL		31.891 ± 1.86	31.69 ± 1.56	32.83 ± 1.98	30.92 ± 1.48	32.84 ± 1.76	33.01 ± 2.16	30.50 ± 2.08
Platelets, 103/μL		218.20 ± 24.05	220.49 ± 23.91	221.83 ± 21.85	220.35 ± 25.48	221.75 ± 22.05	220.24 ± 23.07	232.94 ± 18.94

Note. There are no statistically significant differences in this table between experience and control ($p < 0.05$).

Source: compiled by I.R. Olabode, N.P. Sachivkina, S.Y. Smolentsev.

On day 5 of our experiment, no statistically significant differences were observed between the 5 experimental groups and one control group. Conclusion: the duration of therapy is very short for visible results.

Table 2

Hematological parameters in rabbits' model on day 10 of treatment

Parameters		Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	Control
Total white blood cells, 103/μL	10 days	5.18 ± 0.53	5.41 ± 0.64	5.84 ± 0.58	5.17 ± 0.52	5.23 ± 0.54	5.15 ± 0.66	6.33 ± 0.48
Lymphocytes, 103/μL		2.53 ± 0.41	2.85 ± 0.40	2.62 ± 0.48	2.71 ± 0.40	2.70 ± 0.39	2.62 ± 0.41	2.61 ± 0.44
Monocytes, 103/μL		0.54 ± 0.12	0.58 ± 0.15	0.50 ± 0.19	0.57 ± 0.16	0.58 ± 0.14	0.55 ± 0.12	0.54 ± 0.11
Granulocytes, 103/μL, of them		3.24 ± 0.30	3.19 ± 0.39	3.18 ± 0.37	3.27 ± 0.38	3.29 ± 0.43	3.06 ± 0.35	3.43 ± 0.55
Neutrophils, 103/μL		2.18 ± 0.31	2.24 ± 0.45	2.21 ± 0.40	2.10 ± 0.39	2.17 ± 0.36	2.13 ± 0.37	2.28 ± 0.35
Red blood cells, 106/μL		5.84 ± 0.43	5.61 ± 0.48	5.47 ± 0.43	5.64 ± 0.41	5.61 ± 0.43	5.61 ± 0.43	5.62 ± 0.38
Hemoglobin, g/dL		9.05 ± 1.00	9.25 ± 1.30	9.24 ± 1.20	9.21 ± 1.34	9.26 ± 1.10	9.27 ± 1.28	9.05 ± 1.17
Hematocrit, %		33.24 ± 3.75	35.36 ± 4.20	32.24 ± 4.02	35.08 ± 4.04	36.04 ± 4.08	35.14 ± 3.95	33.20 ± 4.73
Mean corpuscular volume, fL		67.84 ± 3.12	67.80 ± 2.56	67.04 ± 3.02	66.36 ± 3.08	65.24 ± 3.00	67.09 ± 2.93	67.92 ± 2.86
Mean corpuscular hemoglobin, pg		19.08 ± 0.92	18.86 ± 0.90	19.21 ± 0.74	19.28 ± 0.93	19.06 ± 0.72	19.15 ± 0.84	18.50 ± 1.05
Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/dL	30.60 ± 2.02	30.60 ± 2.02	31.83 ± 1.98	30.42 ± 1.48	32.84 ± 1.76	32.83 ± 1.98	30.40 ± 2.18	
Platelets, 103/μL	216.90 ± 18.72	211.94 ± 20.79	215.23 ± 19.85	220.35 ± 25.48	226.75 ± 22.05	217.83 ± 21.85	235.74 ± 20.22	

Note. There are no statistically significant differences in this table between experience and control ($p < 0.05$).

Source: compiled by I.R. Olabode, N.P. Sachivkina, S.Y. Smolentsev.

On day 10 of our experiment, also no statistically significant differences were observed between the 5 experimental groups and one control group. Conclusion: the duration of therapy is very short for visible results according to Hematological parameters in rabbits’ model.

Table 3

Hematological parameters in rabbits’ model on day 15 of treatment

Parameters	Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan+Far	Control
Total white blood cells, 10 ³ /μL	5.01 ± 0.37	5.23 ± 0.58	5.83 ± 0.45	5.10 ± 0.65	5.41 ± 0.71	5.32 ± 0.47	6.33 ± 0.56
Lymphocytes, 10 ³ /μL	3.06 ± 0.38	2.96 ± 0.40	2.76 ± 0.45	2.58 ± 0.68	3.17 ± 1.28	2.66 ± 0.58	2.61 ± 0.44
Monocytes, 10 ³ /μL	0.29 ± 0.13	0.40 ± 0.17	0.41 ± 0.14	0.36 ± 0.18	0.42 ± 0.15	0.40 ± 0.17	0.50 ± 0.11
Granulocytes, 10 ³ /μL, of them	3.08 ± 0.28	3.19 ± 0.39	3.16 ± 0.37	3.04 ± 0.31	2.88 ± 0.24	3.43 ± 0.58	3.43 ± 0.55
Neutrophils, 10 ³ /μL	2.00 ± 0.33	2.18 ± 0.41	1.99 ± 0.46	2.20 ± 0.58	2.14 ± 0.50	2.11 ± 0.42	2.28 ± 0.35
Red blood cells, 10 ⁶ /μL	5.29 ± 0.41	5.61 ± 0.48	5.47 ± 0.43	5.59 ± 0.51	5.59 ± 0.51	5.59 ± 0.51	5.62 ± 0.38
Hemoglobin, g/dL	9.43 ± 1.21	9.25 ± 1.30	9.24 ± 1.20	9.40 ± 1.27	9.48 ± 1.01	9.53 ± 1.21	9.05 ± 1.17
Hematocrit, %	35.90 ± 4.80	32.02 ± 3.17	33.94 ± 3.42	34.65 ± 3.81	34.90 ± 3.77	33.52 ± 3.83	33.20 ± 4.73
Mean corpuscular volume, fL	64.01 ± 2.37	64.31 ± 2.65	68.21 ± 2.28	60.53 ± 2.67	69.01 ± 3.08	65.91 ± 2.64	67.92 ± 2.96
Mean corpuscular hemoglobin, pg	19.00 ± 1.04	21.45 ± 0.86	19.74 ± 0.69	19.80 ± 1.02	20.32 ± 0.94	20.80 ± 0.73	18.60 ± 0.98
Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/dL	33.53 ± 1.20	32.61 ± 1.37	32.84 ± 1.42	32.41 ± 1.24	33.54 ± 1.26	32.51 ± 2.07	30.40 ± 2.18
Platelets, 10 ³ /μL	232.60 ± 20.34	225.60 ± 17.04	219.60 ± 21.05	218.60 ± 19.36	210.60 ± 16.04	200.32 ± 14.04*	240.34 ± 20.24

Note. The data are represented as mean ± SD. * – statistically significant difference between experience and control (*p* < 0.05).

Source: compiled by I.R. Olabode, N.P. Sachivkina, S.Y. Smolentsev.

On the 15th day of our experiment, statistically significant differences between 5 experimental groups and one control group are visible in the level of platelets in rabbits that received daily therapy Otoxolan + Far.

Table 4

Hematological parameters in rabbits’ model on day 20 of treatment

Parameters	Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	Control
Total white blood cells, 10 ³ /μL	5.08 ± 0.63	5.23 ± 0.51	5.11 ± 0.62	5.64 ± 0.55	5.09 ± 0.58	5.34 ± 0.43	6.13 ± 0.48
Lymphocytes, 10 ³ /μL	2.46 ± 0.38	2.41 ± 0.40	2.26 ± 0.45	2.38 ± 0.68	3.10 ± 1.23	2.26 ± 0.58	2.61 ± 0.44
Monocytes, 10 ³ /μL	0.29 ± 0.13	0.40 ± 0.17	0.41 ± 0.14	0.36 ± 0.18	0.42 ± 0.15	0.40 ± 0.17	0.50 ± 0.11

Ending tabl. 4

Parameters	Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	Control
Granulocytes, 103/ μ L, of them	2.87 \pm 0.38	2.76 \pm 0.39	3.10 \pm 0.50	3.02 \pm 0.41	2.85 \pm 0.39	2.70 \pm 0.34	3.43 \pm 0.45
Neutrophils, 103/ μ L	2.00 \pm 0.33	2.18 \pm 0.41	1.99 \pm 0.46	2.20 \pm 0.58	2.14 \pm 0.50	2.11 \pm 0.42	2.28 \pm 0.35
Red blood cells, 106/ μ L	5.28 \pm 0.42	5.14 \pm 0.40	4.97 \pm 0.57	5.24 \pm 0.45	5.35 \pm 0.39	5.40 \pm 0.42	5.62 \pm 0.38
Hemoglobin, g/dL	9.62 \pm 0.81	9.22 \pm 0.94	9.43 \pm 1.05	8.82 \pm 0.90	9.52 \pm 0.81	9.41 \pm 0.94	9.05 \pm 1.17
Hematocrit, %	35.38 \pm 3.64	36.83 \pm 4.08	36.19 \pm 3.06	35.25 \pm 4.03	32.83 \pm 3.41	35.36 \pm 4.15	32.20 \pm 2.93
Mean corpuscular volume, fL	64.57 \pm 1.82	65.53 \pm 1.94	65.69 \pm 2.02	65.97 \pm 2.13	66.05 \pm 1.90	65.74 \pm 1.95	67.92 \pm 2.96
Mean corpuscular hemoglobin, pg	19.90 \pm 1.24	19.20 \pm 1.13	18.56 \pm 1.25	19.70 \pm 1.20	18.84 \pm 1.15	19.30 \pm 1.02	17.94 \pm 0.88
Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/dL	32.94 \pm 1.54	35.90 \pm 1.73	36.90 \pm 2.02	37.65 \pm 1.54*	36.82 \pm 1.63*	37.24 \pm 1.54*	30.40 \pm 2.18
Platelets, 103/ μ L	225.78 \pm 20.43	211.50 \pm 21.43	209.26 \pm 17.93	201.53 \pm 20.42*	205.56 \pm 18.79*	207.28 \pm 17.43*	234.74 \pm 20.22

Note. The data are represented as mean \pm SD. * – statistically significant difference between experience and control ($p < 0.05$).

Source: compiled by I.R. Olabode, N.P. Sachivkina, S.Y. Smolentsev.

On the 20th day of our experiment, statistically significant differences between 5 experimental groups and one control group are visible in the level of platelets and mean corpuscular hemoglobin concentration in rabbits that received daily therapy Otoxolan + Far; Surolan + Far; Otifri + Far.

Table 5

Hematological parameters in rabbits' model on day 25 of treatment

Parameters	Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	Control
Total white blood cells, 103/ μ L	4.96 \pm 0.76	5.13 \pm 0.52	5.24 \pm 0.95	4.97 \pm 0.90	4.82 \pm 0.41*	5.03 \pm 0.51*	6.23 \pm 0.38
Lymphocytes, 103/ μ L	3.21 \pm 0.44	3.14 \pm 0.35	3.15 \pm 0.38	3.06 \pm 0.29	3.18 \pm 0.30	3.01 \pm 0.32	2.65 \pm 0.44
Monocytes, 103/ μ L	0.29 \pm 0.13	0.40 \pm 0.17	0.41 \pm 0.14	0.36 \pm 0.18	0.42 \pm 0.15	0.40 \pm 0.17	0.50 \pm 0.11
Granulocytes, 103/ μ L, of them	2.87 \pm 0.38	2.76 \pm 0.39	2.80 \pm 0.40	3.02 \pm 0.51	2.85 \pm 0.49	2.70 \pm 0.34	3.43 \pm 0.55
Neutrophils, 103/ μ L	2.08 \pm 0.53	2.19 \pm 0.61	2.26 \pm 0.48	1.93 \pm 0.66	2.24 \pm 0.52	2.15 \pm 0.60	2.18 \pm 0.35
Red blood cells, 106/ μ L	5.28 \pm 0.42	5.14 \pm 0.40	4.97 \pm 0.57	5.24 \pm 0.45	5.25 \pm 0.39	5.40 \pm 0.42	5.62 \pm 0.38

Ending tabl. 5

Hemoglobin, g/dL		9.61 ± 1.03	9.73 ± 1.12	10.08 ± 0.85	10.22 ± 0.95	10.02 ± 1.10	9.43 ± 1.04	9.05 ± 1.17
Hematocrit, %		34.39 ± 2.24	35.18 ± 2.57	33.75 ± 3.12	34.82 ± 3.00	35.19 ± 1.73	35.16 ± 3.10	32.10 ± 2.73
Mean corpuscular volume, fL		64.92 ± 2.56	65.38 ± 2.48	65.36 ± 3.04	65.49 ± 2.93	65.12 ± 3.03	63.34 ± 2.50	67.82 ± 2.56
Mean corpuscular hemoglobin, pg	25 days	19.90 ± 1.24	18.20 ± 1.13	18.56 ± 1.25	19.40 ± 1.20	18.84 ± 1.15	19.30 ± 1.02	18.60 ± 0.98
Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/dL		36.64 ± 2.26	35.60 ± 2.34	38.45 ± 1.79*	39.61 ± 2.14*	37.94 ± 2.83*	38.62 ± 2.15*	30.40 ± 2.18
Platelets, 103/μL		204.73 ± 16.19	201.26 ± 23.38	197.54 ± 20.70*	201.50 ± 21.74*	200.53 ± 15.67*	199.50 ± 18.72*	233.94 ± 22.48

Note. The data are represented as mean ± SD. * – statistically significant difference between experience and control ($p < 0.05$).

On the 25th day of our experiment, statistically significant differences between 5 experimental groups and one control group are visible in the level of platelets & mean corpuscular hemoglobin concentration & total white blood cells in rabbits that received daily therapy Otoxolan + Far; Surolan + Far; Otifri + Far & just Otoxolan.

Table 6

Hematological parameters in rabbits’ model on day 30 of treatment

Parameters		Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	control
Total white blood cells, 103/μL	30 days	4.90 ± 0.76	4.72 ± 0.87	4.97 ± 0.63	4.38 ± 0.74*	4.21 ± 0.82*	4.41 ± 0.55*	6.93 ± 1.28
Lymphocytes, 103/μL		3.14 ± 1.20	3.75 ± 0.69	3.38 ± 0.70	3.24 ± 0.75	3.18 ± 0.84	3.22 ± 0.68	2.71 ± 0.48
Monocytes, 103/μL		0.29 ± 0.13	0.40 ± 0.17	0.41 ± 0.14	0.32 ± 0.18	0.42 ± 0.15	0.40 ± 0.17	0.50 ± 0.11
Granulocytes, 103/μL, of them		2.87 ± 0.38	2.76 ± 0.39	2.83 ± 0.42	3.02 ± 0.51	2.84 ± 0.50	2.70 ± 0.34	3.43 ± 0.55
Neutrophils, 103/μL		2.18 ± 0.53	2.19 ± 0.61	2.16 ± 0.58	1.93 ± 0.60	2.24 ± 0.52	2.15 ± 0.60	2.28 ± 0.35
Red blood cells, 106/μL		5.52 ± 0.41	5.27 ± 0.40	5.20 ± 0.45	5.47 ± 0.50	5.28 ± 0.48	5.12 ± 0.36	5.60 ± 0.41
Hemoglobin, g/dL		9.66 ± 0.47	9.84 ± 0.61	10.35 ± 0.53	10.06 ± 0.49	10.11 ± 0.79	10.60 ± 0.44	9.01 ± 1.10
Hematocrit, %		41.03 ± 1.80*	39.25 ± 1.96*	40.01 ± 1.88*	41.10 ± 1.90*	40.56 ± 1.54*	39.03 ± 1.90*	32.20 ± 3.73
Mean corpuscular volume, fL		62.92 ± 2.56	61.38 ± 2.48	65.36 ± 3.01	65.49 ± 2.73	64.12 ± 3.00	62.34 ± 2.50	67.92 ± 2.96
Mean corpuscular hemoglobin, pg	21.90 ± 1.24	19.20 ± 1.13	20.56 ± 2.05	19.80 ± 1.64	19.87 ± 1.35	19.90 ± 1.52	18.60 ± 0.98	

Ending tabl. 6

Parameters		Surolan	Otifri	Otoxolan	Surolan + Far	Otifri + Far	Otoxolan + Far	control
Mean corpuscular hemoglobin concentration, g/dL	30 days	40.64 ± 2.26*	41.60 ± 2.34*	40.25 ± 1.79*	41.61 ± 2.14*	39.94 ± 2.03*	40.62 ± 2.05*	30.40 ± 2.18
Platelets, 103/μL		195.73 ± 11.88*	198.06 ± 13.38*	200.51 ± 15.70*	196.40 ± 19.72*	200.53 ± 15.76*	197.55 ± 18.02*	234.74 ± 23.82

Note. The data are represented as mean ± SD. * – statistically significant difference between experience and control ($p < 0.05$).

Source: compiled by I.R. Olabode, N.P. Sachivkina, S.Y. Smolentsev.

On the 30th day of our experiment, statistically significant differences between 5 experimental groups and one control group are visible in the level of platelets & mean corpuscular hemoglobin concentration & total white blood cells & hematocrit in rabbits that received daily therapy in all 6 groups. In fact, the blood parameters of rabbits in the experimental groups returned by day 30 to the level of hematological indicators before the experimental infection. This return of indicators was observed especially quickly in the group with the addition of Far.

Conclusion

The rabbit model of otitis ear with *Malassezia pachydermatis* taken from dogs was successful and clinical signs of the disease were observed: loss of appetite or body weight, erythema, itching, the release of abundant ear secretions (cerumen) of a yellow-brown color, often with an unpleasant odor. It was found that the use of drugs in combination with Farnesol in animals of the experimental group reduced the signs of hyperemia, edema, itching, the amount of exudate already on the 5th–7th day of treatment, and complete clinical recovery of animals occurred, on average, on the 20th day of the experiment. When using commercial drugs (Surolan; Otifri; Otoxolan) in monotherapy in animals, on average, an improvement in the clinical condition occurred on the 25th day, and final recovery occurred only after a full course of treatment — 30 days. However, when using Otifri, the clinical manifestation of MO persisted throughout the experiment. Animals of the control group also retained clinical signs of the disease throughout the experiment. Their condition worsened in the dynamics of the study, which proves the effectiveness of the MO model in rabbits developed by us. Analyzing the obtained results, it can be said that all treatment regimens with the addition of Farnesol were effective due to its broad spectrum of action against microorganisms that most often cause otitis, as well as the anti-inflammatory effect. It is worth noting that in the experimental groups there was not a single case of the presence of MR in smears and on nutrient media after combined therapy with Surolan / Otifri / Otoxolan in combination with Farnesol, already on the 20th day of therapy. At the same time, in the control group, all animals were observed DPG during microscopy of smears of ear exudate and there was growth on special nutrient media in high concentrations throughout the experiment. It is important to note that when

adding Farnesol to any drug, microbiological purification from MR occurred, on average, 5–10 days earlier. At the same time, the best result in this series of experiments was with a combination of Otoxolan + Farnesol, since complete sanitation of the ears from MR was recorded in animals of this group already on the 10th day of therapy. Clinical blood parameters of rabbits with MO before treatment were characterized by low values of the red blood cell count — 5.20 ± 0.34 $10^6/\mu\text{l}$ and hemoglobin — 9.18 ± 1.07 g/dl. It was clearly shown that on the 5th–10th days of the experiment, statistically significant differences between the experimental groups and the control group were not observed. On the 15th day of our experiment, statistically significant differences between the experimental and control groups were visible in the platelet level in rabbits receiving daily therapy with Otoxolan + Farnesol. On the 20th, differences were visible in the platelet count and the average concentration of corpuscular hemoglobin in rabbits receiving daily therapy with combinations of Otoxolan + Far; Surolan + Far; Otifri + Far. On the 25th day, differences were recorded in the platelet count, mean concentration of corpuscular hemoglobin and total number of leukocytes in rabbits receiving daily therapy with Otoxolan + Far; Surolan + Far; Otifri + Far and Otoxolan in monotherapy. On the 30th day of our experiment, statistically significant differences were recorded in the platelet level, which was 16.62...14.57% lower in the experimental groups receiving treatment, when compared with the control group. A significant difference was also noticeable when measuring the total number of leukocytes. Moreover, their greatest decrease (by 36.36...39.25%) was observed in the groups receiving Farnesol. The number of erythrocytes in all experimental groups varied in values close to the control, however, significant changes were observed in the hematocrit values, which increased by 27.42% in the group receiving Surolan therapy, by 21.89% — Otifri, by 24.25% — Otoxolan, by 27.64% — Surolan + Far, by 25.96% — Otifri + Far, by 21.21% — Otoxolan + Farnesol, when compared with the control group. This calls for further investigation to clarify the role of *Malassezia* in dermatological disorders and the potential of new treatment approaches.

References / Список литературы

1. Cafarchia C, Immediato D, Paola GD, Magliani W, Ciociola T, Conti S, et al. In vitro and in vivo activity of a killer peptide against *Malassezia pachydermatis* causing otitis in dogs. *Med Mycol*. 2014;52(4):350–355. doi: 10.1093/mmy/myt016
2. Olabode IR, Sachivkina NP, Kiseleva EV, Shurov AI. Effectiveness of Farnesol for treatment of dog otitis complicated by *Malassezia pachydermatis*. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023;18(2):250–263. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-250-263
3. Peano A, Johnson E, Chiavassa E, Tizzani P, Guillot J, Pasquetti M. Antifungal resistance regarding *Malassezia pachydermatis*: where are we now? *J Fungi*. 2020;6(2):93. doi: 10.3390/jof6020093
4. Lee TH, Hyun JE, Kang YH, Baek SJ, Hwang CY. In vitro antifungal activity of cold atmospheric microwave plasma and synergistic activity against *Malassezia pachydermatis* when combined with chlorhexidine gluconate. *Vet Med Sci*. 2022;8(2):524–529. doi: 10.1002/vms3.719
5. Nakano Y, Wada M, Tani H, Sasai K, Baba E. Effects of beta-thujaplicin on anti-*Malassezia pachydermatis* remedy for canine otitis externa. *J Vet Med Sci*. 2005;67(12):1243–1247. doi: 10.1292/jvms.67.1243
6. Shin J, Bae S. In vitro effects of omeprazole in combination with antifungal compounds against *Malassezia pachydermatis*. *Vet Med Sci*. 2023;9(6):2594–2599. doi: 10.1002/vms3.1305
7. Cafarchia C, Gallo S, Capelli G, Otranto D. Occurrence and population size of *Malassezia* spp. in the external ear canal of dogs and cats both healthy and with otitis. *Mycopathologia*. 2005;160:143–149. doi: 10.1007/s11046-005-0151-x

8. Torres M, Pinzón EN, Rey FM, Martínez H, Parra Giraldo CM, Celis Ramírez AM. *Galleria mellonella* as a novelty *in vivo* model of host-pathogen interaction for *Malassezia furfur* CBS 1878 and *Malassezia pachydermatis* CBS 1879. *Front Cell Infect Microbiol.* 2020;10:199. doi: 10.3389/fcimb.2020.00199
9. Pinchbeck LR, Hillier A, Kowalski JJ, Kwochka KW. Comparison of pulse administration versus once daily administration of itraconazole for the treatment of *Malassezia pachydermatis* dermatitis and otitis in dogs. *J Am Vet Med Assoc.* 2002;220(12):1807–1812. doi: 10.2460/javma.2002.220.1807
10. Kano R, Aramaki C, Murayama N, Mori Y, Yamagishi K, Yokoi S, et al. High multi-azole-resistant *Malassezia pachydermatis* clinical isolates from canine *Malassezia dermatitis*. *Med Mycol.* 2020;58(2):197–200. doi: 10.1093/mmy/myz037
11. Sachivkina N, Karamyan A, Petrukhina O, Kuznetsova O, Neborak E, Ibragimova A. A rabbit model of ear otitis established using the *Malassezia pachydermatis* strain C23 from dogs. *Veterinary World.* 2023;16(11):2192–2199. doi: 10.14202/vetworld.2023.2192-2199
12. Sachivkina NP, Kravtsov EG, Wasileva EA, Anokchina IV, Dalin MV. Efficiency of lyticase (bacterial enzyme) in experimental candidal vaginitis in mice. *Bull Exp Biol Med.* 2010;149(6):727–730. doi: 10.1007/s10517-010-1037-6
13. Vis JY, Huisman A. Verification and quality control of routine hematology analyzers. *Int J Lab Hematol.* 2016;38(S1):100–109. doi: 10.1111/ijlh.12503
14. Thammasit P, Laliem A, Chaicumpar K, Pruksaphon K, Nosanchuk JD, Youngchim S. Differential lipase virulence in *Malassezia furfur* dimorphism isolated from pityriasis versicolor patients and healthy individuals. *Mycoses.* 2023;66(6):540–549. doi: 10.1111/myc.13580
15. Park M, Park S, Jung WH. Skin commensal fungus *Malassezia* and its lipases. *J Microbiol Biotechnol.* 2021;31(5):637–644. doi: 10.4014/jmb.2012.12048
16. Juntachai W, Oura T, Murayama SY, Kajiwara S. The lipolytic enzymes activities of *Malassezia* species. *Med Mycol.* 2009;47(5):477–484. doi: 10.1080/13693780802314825

About authors:

Olabode Ifarajimi Rapheal — PhD student, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1042205126@rudn.ru

ORCID: 0000-0003-2395-7350 SPIN-code: 7155-3985

Sachivkina Nadezhda Pavlovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., bldg. 2, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: sachivkina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1100-929X SPIN-code: 1172-3163

Smolentsev Sergey Yuryevich — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Livestock Production Technology, Agrarian and Technological Institute, Mari State University, 1 Lenina sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation; e-mail: smolentsev82@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6086-1369 SPIN-code: 8507-7106

Изучение показателей крови у кроликов с отитом, вызванным *Malassezia pachydermatis*, и влияние фарнезола на показатели выздоровления при добавлении в схему лечения

И.Р. Олабодэ¹  , Н.П. Сачивкина¹ , С.Ю. Смоленцев² 

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

²Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация

 1042205126@rudn.ru

Аннотация. В связи с широким распространением малассезиозного отита у животных предложена экспериментальная модель данной патологии для отработки эффективной фармакотерапии и разработки протокола лечения. В исследовании задействовано 35 кроликов, животных разделили

на 7 групп по 5 кроликов в каждой (порода «Советская шиншилла», самцы). Каждая группа получала один из следующих препаратов: Суrolан; Отифри; Отоксолан; Суrolан + Фарнезол 200 мкМ/мл; Отифри + Фарнезол 200 мкМ/мл; Отоксолан + Фарнезол 200 мкМ/мл; контроль. Все препараты наносили на всю пораженную поверхность ушной раковины. Обработку проводили один раз в день, продолжительность лечения составила 30 суток. Установлено, что применение лекарственных препаратов в комплексе с Фарнезолом у животных опытной группы уменьшало клинические признаки заболевания; быстрее наступала элиминация грибов в мазках; клинические показатели крови кроликов улучшались.

Ключевые слова: *Malassezia pachydermatis*, экспериментальный отит, клинические признаки, анализ крови, кролики

Вклад авторов: концепция, методология — Н.П. Сачивкина; валидация и проведение исследования — И.Р. Олабодэ; работа с данными — С.Ю. Смоленцев. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

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

История статьи: поступила в редакцию 7 декабря 2024 г., принята к публикации 21 декабря 2024 г.

Для цитирования: *Olabode I.R., Sachivkina N.P., Smolentsev S.Y. A study of blood parameters in rabbits with otitis caused by Malassezia pachydermatis and the effect of Farnesol on recovery rates when added to the treatment regimen // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2024. Т. 19. № 4. 707—719. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-4-707-719*

Об авторах:

Олабодэ Ифараджими Рафиль — аспирант департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: 1042205126@rudn.ru

ORCID: 0000-0003-2395-7350 SPIN-код: 7155-3985

Сачивкина Надежда Павловна — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8, корп. 2; e-mail: sachivkina@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1100-929X SPIN-код: 1172-3163

Смоленцев Сергей Юрьевич — доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры технологии производства продукции животноводства, Аграрно-технологический институт, Марийский государственный университет, Российская Федерация, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 1; e-mail: smolentsev82@mail.ru
ORCID: 0000-0002-6086-1369 SPIN-код: 8507-7106

