



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2023 Том 18 № 2

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2

agrojournal.rudn.ru

Научный журнал

Издается с 2006 г.

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

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

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

Главный редактор

Ватников Ю.А., д-р вет. наук,
проф., директор департамента
ветеринарной медицины АТИ,
РУДН, Москва, Российская
Федерация

E-mail: vatnikov-yua@rudn.ru

Заместитель главного редактора

Пакина Е.Н., д-р биол. наук,
директор Агробиотехнологического
департамента АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация

E-mail: pakina-en@rudn.ru

Ответственный секретарь

Куликов Е.В., канд. биол. наук,
доц. департамента ветеринарной
медицины АТИ, РУДН, Москва,
Российская Федерация

E-mail: kulikov-ev@rudn.ru

Члены редакционной коллегии

Агии 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Пишоваров В.Ф., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФНЦО Овощеводства РАН, 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

Сычѳ 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

Чамуршиев Г.О., канд. с.-х. наук, РУДН, Москва, РФ

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

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

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

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

4 выпуска в год (ежеквартально)

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

Языки: русский, английский.

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

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

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

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 1.5.9. Ботаника (сельскохозяйственные науки), 1.5.19. Почвоведение (сельскохозяйственные науки), 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.3. Агротехнология, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки, биологические науки), 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (биологические науки, сельскохозяйственные науки), 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (ветеринарные науки, биологические науки), 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки), 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки, биологические науки).

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

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

Компьютерная верстка: М.В. Рогова

Адрес редакции:

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

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

Почтовый адрес редакции

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

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

Подписано в печать 30.06.2023. Выход в свет 06.07.2023. Формат 70×100/16.

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

Усл. печ. л. 12,7. Тираж 500 экз. Заказ № 675. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

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

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

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

тел. (495) 952-04-41; publishing@rudn.ru



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2023 VOLUME 18 No. 2
DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

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

EDITOR-IN-CHIEF

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

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

EXECUTIVE SECRETARY

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS

- Sonia Agigi* — D. Sc. in Biology, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Tamara S. Astarkhanova — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Evgenia V. Blagodatskaya — D. Sc. in Biology, Professor, Helmholtz-Center for Environmental Research, Leipzig, Germany
Georgiy O. Chamurlijev — Ph.D. in Agriculture, 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
Vasily I. Dorozhkin — D. Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Branch of Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine, RAS), Moscow, Russian Federation
Nikolai N. Dubenok — D. Sc. in Agriculture, Professor, Academician of the RAS, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
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. Güns — 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
Katerina 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 RUDN University
(Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba),
Moscow, Russian Federation

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

Publication frequency: Quarterly

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

Languages: Russian, English

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

Aims and Scope

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

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

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

The editors are open to thematic issue initiatives with guest editors. Submitted papers are evaluated by independent reviewers and the Editorial Board members specialized in the article field. All materials must comply with the ethical standards of scientific publications.

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

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

Editors *O.V. Goryacheva, M.I. Yablonskaya*
Computer design *M.V. Rogova*

Address of the Editorial Board:

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

Postal Address of the Editorial Board:

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

Printing run 500 copies. Open price

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

Printed at RUDN Publishing House:

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

Содержание

Морфология и биохимия растений

Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А. Адаптивность образцов ячменя по содержанию жира в зерне в условиях Красноярской лесостепи 153

Генетика и селекция растений

Мягкова Е.Г. Некоторые аспекты сортоизучения хлопчатника *Gossypium hirsutum* L. в условиях Астраханской области 163

Защита растений

Кавиза Н.Д., Заргар М., Приходько С.И., Пакина Е.Н., Диаките С. Влияние *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *allii* на проращивание 12 сортов лука репчатого ... 174

Общее земледелие

Нахаев М.Р., Астарханова Т.С. Оптимизация приемов основной обработки почвы на склоновых ландшафтах Чеченской Республики.....186

Почвоведение и агрохимия

Грубина П.Г., Савин И.Ю. Информативность данных инфракрасного диапазона съемки для детектирования свойств пахотных почв 197

Морфология и онтогенез животных

Голубцова Д.А., Слесаренко Н.А. Макро- и микроморфологические особенности предстательного-пузырного комплекса у собак.....213

Петряева А.В., Ткачев А.В., Ткачева О.Л. Влияние типа высшей нервной деятельности на физиологические особенности спермы котов российской селекции222

Ветеринария

Aljaf K.A.N., Bolshakova M.N. Nano-selenium-mediated alterations in lipid profile, liver and renal functions, and protein parameters in male lambs: an experimental study (Влияние наноселена на изменения липидного профиля, функций печени и почек, белковых параметров у ягнят-самцов: экспериментальное исследование)..... 230

Вилковыский И.Ф., Руснак И.А., Ягников С.А., Сахно Н.В., Селезнев С.Б.

Анализ оперативной коррекции атланта-аксиальной нестабильности у собак 241

Olabode I.R., Sachivkina N.P., Kiseleva E.V., Shurov A.I. Effectiveness of Farnesol for treatment of dog otitis complicated by *Malassezia pachydermatis*

(Эффективность применения Фарнезола для лечения отитов собак, осложненных *Malassezia pachydermatis*) 250

Сотникова Е.Д., Петрухина О.А., Бяхова В.М., Сибирцев В.Д. Особенности

течения гепатокардиального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек 264

Сулайманова Р.Т., Квочко А.Н. Молекулярно-биологический маркер BCL-2:

анализ семенников при пренатальном введении эстрогенов белым лабораторным мышам 273

Экономика и развитие АПК

Юсова О.А., Николаев П.Н. Проектный подход в селекционных программах

для обеспечения продовольственной безопасности Западной Сибири 282

Contents

Morphology and biochemistry of plants

Polonsky V.I., Sumina A.V., Gerasimov S.A. Adaptability of barley varieties in terms of fat content in grain under conditions of Krasnoyarsk forest-steppe 153

Genetics and plant breeding

Myagkova E.G. Some aspects of testing cotton *Gossypium hirsutum* L. in conditions of the Astrakhan region..... 163

Plant protection

Kavhiza N.J., Zargar M., Prikhodko S.I., Pakina E.N., Diakite S. Influence of *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *allii* on germination of 12 onion varieties 174

Land management

Nakhaev M.R., Astarkhanova T.S. Optimization of basic tillage techniques on the slope landscapes in the Chechen Republic.....186

Soil science and agrochemistry

Grubina P.G., Savin I.Y. Informative value of infrared survey data for detecting properties of arable soils.....197

Morphology and ontogenesis of animals

Golubtsova D.A., Slesarenko N.A. Macro and micromorphological features of prostate-vesical complex in dogs..... 213

Petryaeva A.V., Tkachev A.V., Tkacheva O.L. Influence of the type of higher nervous activity on seminal physiological characteristics in cats of Russian breeds 222

Veterinary science

Aljaf K.A.H., Bolshakova M.N. Nano-selenium-mediated alterations in lipid profile, liver and renal functions, and protein parameters in male lambs: an experimental study230

Vilkovskiy I.F., Rusnak I.A., Yagnikov S.A., Sakhno N.V., Seleznev S.B. Analysis of surgical correction of atlanto-axial instability in dogs	241
Olabode I.R., Sachivkina N.P., Kiseleva E.V., Shurov A.I. Effectiveness of Farnesol for treatment of dog otitis complicated by <i>Malassezia pachydermatis</i>	250
Sotnikova E.D., Petrukhina O.A., Byakhova V.M., Sibirtsev V.D. Features of the course of hepatocardial syndrome in cats with hypertrophic cardiomyopathy	264
Sulaimanova R.T., Kvochko A.N. Molecular biological marker BCL-2: testis analysis in prenatal injection of estrogen to white laboratory mice.....	273
 Management and development of agro-industrial complex	
Yusova O.A., Nikolaev P.N. Project approach in breeding programs to ensure food security in Western Siberia	282



Морфология и биохимия растений Morphology and biochemistry of plants


DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-153-162

EDN HKGMZH

УДК 633.13:631.52

Научная статья / Research article

Адаптивность образцов ячменя по содержанию жира в зерне в условиях Красноярской лесостепи

В.И. Полонский^{1,2} , А.В. Сумина³  , С.А. Герасимов⁴ ¹Красноярский государственный аграрный университет,
г. Красноярск, Российская Федерация²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация³Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова,
г. Абакан, Российская Федерация⁴Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное
подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный
центр СО РАН», г. Красноярск, Российская Федерация
 alenasumina@list.ru

Аннотация. Проведено исследование с целью выявления и анализа возможной связи между содержанием жира в зерне образцов ячменя и уровнем их стабильности по данному биохимическому признаку. В работе использовались по 15 образцов пленчатого ячменя, которые были выращены в течение трех лет в условиях Красноярской лесостепи (ОПХ «Минино», Емельяновский район Красноярского края). Климатические условия по годам исследования существенно различались по температурному режиму и количеству осадков в течение вегетационного периода. После уборки растений в зерне ячменя измеряли содержание жира химическим методом по ГОСТ 13496.15–97. Вычисляли два параметра экологической пластичности образцов (коэффициент вариации C_v и показатель стрессоустойчивости d) и четыре параметра стабильности образцов (показатель уровня и стабильности сорта ПУСС, параметр гомеостатичности $Ном$, фактор стабильности SF и показатель селекционной ценности сорта C_s). Установлено, что наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности, а соответственно, минимальной

© Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А., 2023

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

суммой рангов по содержанию жира в зерне для условий Красноярской лесостепи отличились образцы ячменя Симон и Паллидум 4727. Наименее ценными по параметрам адаптивности с максимальной суммой рангов оказались образцы ячменя Г 18619, Г 19589 и Дыгын. Показано, что образцы ячменя с более высоким содержанием жира в зерне характеризовались повышенными значениями всех параметров стабильности по этому признаку, причем указанная положительная связь была статистически доказана для параметра Cs. Полученный результат может говорить в пользу того, что при успешной селекции ячменя на максимальную стабильность образцов по признаку содержания жира в зерне не будет снижаться уровень его масличности.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., пленчатый ячмень, масло, показатель пластичности, стабильность сортов

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

История статьи: поступила в редакцию 9 марта 2022 г., принята к публикации 27 февраля 2023 г.

Для цитирования: Полонский В.И., Сумина А.В., Герасимов С.А. Адаптивность образцов ячменя по содержанию жира в зерне в условиях Красноярской лесостепи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 153–162. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-153-162


Adaptability of barley varieties in terms of fat content in grain under conditions of Krasnoyarsk forest-steppe

Vadim I. Polonsky^{1,2} , Alena V. Sumina³  , Sergey A. Gerasimov⁴ 

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

³Khakassian State University named after N.F. Katanov,
Abakan, Russian Federation

⁴Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, affiliated to Krasnoyarsk Scientific Center,
Siberian Branch of the RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation
 alenasumina@list.ru

Abstract. The aim of the study was to analyze possible relationship between fat content in grain of barley varieties and level of their stability for this biochemical trait. The work involved 15 varieties of hulled barley, which were grown for three years in conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe ('Minino' farm, Emelyanovsky district, the Krasnoyarsk Territory). Climatic conditions in the research years differed significantly in terms of temperature and precipitation during the growing season. After harvesting plants, fat content in barley grain was measured by the chemical method according to GOST 13496.15–97. For barley varieties, two parameters of ecological plasticity (coefficient of variation; stress resistance index) and four stability parameters (indicator of level and stability of variety; homeostatic parameter; stability factor; index of selection value of variety) were calculated according to the indicated biochemical trait. It was found that Simon and Pallidum 4727 had the lowest value of plasticity and the highest value of stability (and, accordingly, the minimum sum of ranks) in terms of fat content in grain for the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. G 18619, G 19589 and Dygyn were least valuable in terms of adaptability parameters with the maximum sum of ranks. It was shown that barley varieties with a higher fat content in grain were characterized by increased values of all stability parameters for this trait, and the indicated positive relationship was statistically proven for the Cs parameter. The result

obtained shows that through the successful selection of barley for the maximum stability of ‘grain fat content’ trait, oil content will not decrease.

Key words: *Hordeum vulgare* L., hulled barley, oil content, plasticity, stability

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

Article history: Received: 9 March 2022. Accepted: 27 February 2023.

For citation: Polonsky VI, Sumina AV, Gerasimov SA. Adaptability of barley varieties in terms of fat content in grain under conditions of Krasnoyarsk forest-steppe. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):153—162. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-153-162

Введение

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) — одна из важнейших кормовых и продовольственных зерновых культур, в последнее время привлек к себе внимание многих исследователей и специалистов пищевых производств, так как зерно ячменя было официально признано сырьем, подходящим для получения функциональных продуктов питания. Выявлено, что оно содержит большое количество весьма полезного для здоровья человека полисахарида β -глюкана [1]. Кроме того, как культурный злак ячмень является хорошим источником белка, антиоксидантов, витаминов и жира [2–4].

Как известно, сегодня на планете регистрируется заметное изменение климата. Поэтому, по мнению ряда авторов, на современном этапе селекции следует учитывать стабильность сортов сельскохозяйственных культур, в частности ячменя, по элементам продуктивности и качеству урожая. При этом важно обладать информацией не только об уровне адаптивности того или иного сорта по качеству урожая, но и иметь представление о возможных связях между показателями качества зерна образцов и уровнем их стабильности по этим признакам. Использование сортов ячменя, адаптированных к различным условиям выращивания и способных максимально реализовать потенциал продуктивности, может повысить стабильность сборов зерна надлежащего качества по годам [5–7].

В литературных источниках по адаптивности образцов ячменя приводятся в основном данные о показателях пластичности и стабильности по величине урожайности и массы 1000 зерен [6–9]. Сведений о варьировании содержания других ценных химических веществ, в частности жира, в зерне ячменя в различных условиях его выращивания в литературе встречается недостаточно [10–12].

Цель исследования — анализ связи между содержанием жира в зерне образцов ячменя и уровнем их стабильности по данному биохимическому признаку.

Материалы и методы исследования

В проведенном исследовании выращивали по 15 образцов пленчатого ячменя в течение трех лет на опытных полях Красноярского НИИ сельского хозяйства СО РАН, расположенных в ОПХ «Минино» (Емельяновский район Красноярского

края). Согласно данным лабораторных исследований, почвенные условия в ОПХ «Минино» представлены обыкновенным маломощным и среднемощным черноземами с проявлением эрозионных процессов. По гранулометрическому составу почвы тяжелосуглинистые. Содержание в них гумуса составляет 4,2 %, реакция почвенного раствора рН — 6,2. Условия выращивания ячменя в указанном пункте существенно различались в разные годы по обеспеченности осадками и режимам среднесуточных температур.

После уборки растений в каждом образце ячменя определяли содержание жира в зерне. Этот химический показатель исследовали, используя аппарат Сокслета, по ГОСТ 13496.15–97 [13], который заключается в экстракции сырого жира из зерна диэтиловым эфиром с последующим удалением последнего, высушиванием и взвешиванием извлеченного жира. Лабораторные анализы были проведены в ФГУ ГСАС «Хакасская» (г. Абакан). Повторность определения содержания жира в зерне трехкратная. По указанному хозяйственно-ценному признаку образцов ячменя вычисляли 5 параметров адаптивности, которые были разделены на две группы. Первая группа объединяла показатели экологической пластичности образцов: коэффициент вариации C_v^1 и показатель стрессоустойчивости d [14]. Во вторую группу вошли параметры стабильности образцов: показатель уровня и стабильности сорта ПУСС [5], параметр гомеостатичности $Ном$ [15] и показатель селекционной ценности сорта C_s [15]. В исследовании использовали прием ранжирования образцов по уровню их адаптивности и для оценок последней вычисляли суммы рангов.

Статистическую обработку данных проводили с помощью стандартных компьютерных программ Microsoft Excel. Достоверность результатов оценивали при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты вычисления пяти показателей адаптивности образцов ячменя по содержанию жира в зерне представлены в табл. 1. Судя по приведенным данным, различные погодные условия, складывающиеся в разные годы изучения ячменя, приводили к варьированию содержания жира в зерне, что отразилось в значениях показателей адаптивности образцов. Можно видеть, что при выращивании в условиях Красноярской лесостепи минимальным значением пластичности и максимальным уровнем стабильности по содержанию жира в зерне ячменя отличались образцы Симон и Паллидум 4727. Наименее ценные по параметрам адаптивности оказались образцы ячменя Г 18619, Г 19589 и Дыгын.

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

Таблица 1

Среднее содержание жира в зерне, показатели адаптивности и результаты ранжирования различных образцов ячменя по этому признаку. Трехлетние данные для условий ОПХ «Минино» Красноярского края

Название образца	X, %	Показатели адаптивности					Сумма рангов
		Cv, %	d	Hom	ПУСС, %	Cs	
Паллидум 4727	2,40	<u>3,3</u> 2	<u>-0,15</u> 2	<u>4,80</u> 2	<u>283,3</u> 2	<u>2,26</u> 1	9
Г 19921	2,13	<u>11,7</u> 7	<u>-0,46</u> 5	<u>0,39</u> 7	<u>64,4</u> 11	<u>1,70</u> 13	43
Симон	2,29	<u>2,2</u> 1	<u>-0,09</u> 1	<u>11,67</u> 1	<u>400,9</u> 1	<u>2,20</u> 2	6
Бархатный	2,26	<u>12,4</u> 8	<u>-0,54</u> 10	<u>0,34</u> 8	<u>68,7</u> 9	<u>1,76</u> 9	44
Паллидум 4759	2,37	<u>13,1</u> 9	<u>-0,58</u> 13	<u>0,31</u> 9,5	<u>71,6</u> 7	<u>1,87</u> 6,5	45
Г 20752	2,35	<u>10,6</u> 5	<u>-0,50</u> 7	<u>0,44</u> 6	<u>86,5</u> 5	<u>1,90</u> 5	28
Витим	2,11	<u>13,7</u> 12	<u>-0,53</u> 8,5	<u>0,29</u> 12	<u>54,0</u> 14	<u>1,62</u> 14	60,5
Г 18619	2,41	<u>17,8</u> 15	<u>-0,77</u> 15	<u>0,18</u> 15	<u>54,3</u> 13	<u>1,71</u> 11,5	69,5
Г 19589	2,36	<u>16,1</u> 14	<u>-0,70</u> 14	<u>0,21</u> 14	<u>57,7</u> 12	<u>1,72</u> 10	64
Дыгын	2,02	<u>15,3</u> 13	<u>-0,53</u> 8,5	<u>0,25</u> 13	<u>44,3</u> 15	<u>1,54</u> 15	64,5
Медикум 4771	2,06	<u>10,2</u> 4	<u>-0,40</u> 4	<u>0,51</u> 4	<u>69,4</u> 8	<u>1,71</u> 11,5	31,5
Омский 96	2,29	<u>13,5</u> 11	<u>-0,55</u> 11	<u>0,31</u> 9,5	<u>64,6</u> 10	<u>1,79</u> 8	49,5
КМ 564	2,40	<u>13,3</u> 10	<u>-0,57</u> 12	<u>0,32</u> 11	<u>72,0</u> 6	<u>1,87</u> 6,5	45,5
Рикотензе 4783	2,47	<u>6,9</u> 3	<u>-0,33</u> 3	<u>1,09</u> 3	<u>147,8</u> 3	<u>2,17</u> 3	15
Красноярский 80 (st.)	2,53	<u>10,7</u> 6	<u>-0,49</u> 6	<u>0,48</u> 5	<u>100,0</u> 4	<u>2,10</u> 4	25
Коэффициент корреляции Спирмена		0,978*	0,858*	0,978*	0,935*	0,830*	—

Примечания. st. – образец-стандарт; X – среднее содержание жира в зерне; Cv – коэффициент вариации; d – показатель стрессоустойчивости; Hom – параметр гомеостатичности; ПУСС – показатель уровня и стабильности сорта; SF – фактор стабильности; Cs – показатель селекционной ценности сорта; числитель – показатели адаптивности образцов; знаменатель – значения рангов. *Величины коэффициентов корреляции Спирмена существенны при $p \leq 0,05$.

Table 1

Fat content in barley grain, adaptability indicators and ranking results of various barley varieties on this trait ('Minino' farm, the Krasnoyarsk Territory)

Variety	X, %	Adaptability indicators					Sum of ranks
		Cv, %	d	Hom	ILSV, %	Cs	
Pallidum 4727	2.40	<u>3.3</u> 2	<u>-0.15</u> 2	<u>4.80</u> 2	<u>283.3</u> 2	<u>2.26</u> 1	9
G 19921	2.13	<u>11.7</u> 7	<u>-0.46</u> 5	<u>0.39</u> 7	<u>64.4</u> 11	<u>1.70</u> 13	43

Ending table 1

Variety	X,%	Adaptability indicators					Sum of ranks
		Cv,%	d	Hom	ILSV,%	Cs	
Simon	2.29	<u>2.2</u> 1	<u>-0.09</u> 1	<u>11.67</u> 1	<u>400.9</u> 1	<u>2.20</u> 2	6
Velvet	2.26	<u>12.4</u> 8	<u>-0.54</u> 10	<u>0.34</u> 8	<u>68.7</u> 9	<u>1.76</u> 9	44
Pallidum 4759	2.37	<u>13.1</u> 9	<u>-0.58</u> 13	<u>0.31</u> 9.5	<u>71.6</u> 7	<u>1.87</u> 6.5	45
G 20752	2.35	<u>10.6</u> 5	<u>-0.50</u> 7	<u>0.44</u> 6	<u>86.5</u> 5	<u>1.90</u> 5	28
Vitim	2.11	<u>13.7</u> 12	<u>-0.53</u> 8.5	<u>0.29</u> 12	<u>54.0</u> 14	<u>1.62</u> 14	60,5
G 18619	2.41	<u>17.8</u> 15	<u>-0.77</u> 15	<u>0.18</u> 15	<u>54.3</u> 13	<u>1.71</u> 11.5	69,5
G 19589	2.36	<u>16.1</u> 14	<u>-0.70</u> 14	<u>0.21</u> 14	<u>57.7</u> 12	<u>1.72</u> 10	64
Dygyn	2.02	<u>15.3</u> 13	<u>-0.53</u> 8.5	<u>0.25</u> 13	<u>44.3</u> 15	<u>1.54</u> 15	64,5
Medikum 4771	2.06	<u>10.2</u> 4	<u>-0.40</u> 4	<u>0.51</u> 4	<u>69.4</u> 8	<u>1.71</u> 11.5	31,5
Omsky 96	2.29	<u>13.5</u> 11	<u>-0.55</u> 11	<u>0.31</u> 9.5	<u>64.6</u> 10	<u>1.79</u> 8	49,5
KM 564	2.40	<u>13.3</u> 10	<u>-0.57</u> 12	<u>0.32</u> 11	<u>72.0</u> 6	<u>1.87</u> 6.5	45,5
Rikotenze 4783	2.47	<u>6.9</u> 3	<u>-0.33</u> 3	<u>1.09</u> 3	<u>147.8</u> 3	<u>2.17</u> 3	15
Krasnoyarsky 80 (st.)	2.53	<u>10.7</u> 6	<u>-0.49</u> 6	<u>0.48</u> 5	<u>100.0</u> 4	<u>2.10</u> 4	25
Spearman correlation coefficient		0.978*	0.858*	0.978*	0.935*	0.830*	—

Notes. st. – standard variety; X – average fat content in grain; Cv – coefficient of variation; d – indicator of stress resistance; Hom – homeostatic parameter; ILSV – indicator of level and stability of variety; SF – stability factor; Cs – indicator of breeding value of variety; numerator – indicators of adaptability of samples; denominator – values of ranks. *The values of the Spearman correlation coefficients are significant at $p \leq 0.05$.

Полученные результаты подтверждают установленную рядом исследователей значительную разницу в содержании жира в зерне ячменя как между генотипами, так и в зависимости от условий внешней среды [16, 17].

Сегодня в литературе для практической оценки уровня пластичности и стабильности образцов сельскохозяйственных культур, в т. ч. ячменя, используется обширный набор разнообразных статистических параметров, однозначно толковать которые затруднительно. Поэтому многими исследователями применяется подход к ранжированию образцов и использованию суммы рангов для вынесения суждения об уровне адаптивности соответствующих образцов. В данной работе в качестве критериев оценки адаптивности образцов ячменя были выбраны следующие: минимальная пластичность (наименьшие значения Cv, d) и максимальная стабильность (наибольшие величины Hom, ПУСС и Cs) уровня изучаемого биохимического признака по условиям выращивания. В соответствие с таким методическим подходом высшие ранги присуждали образцам ячменя, которые обладали наимень-

шим варьированием изучаемого признака. Как показали результаты (см. табл. 1), по минимальной сумме рангов выделились образцы Симон и Паллидум 4727.

В исследовании установлено наличие четкого совпадения данных ранжирования образцов ячменя по их адаптивности, определяемых на основе различных параметров пластичности и стабильности. Этот результат доказан на основе полученных существенных значений коэффициентов корреляции Спирмена между рангами по отдельным параметрам адаптивности и суммой рангов (см. табл. 1). Зарегистрированный эффект позволяет предположить, что практически все используемые здесь параметры адаптивности по содержанию жира в зерне дают одному и тому же образцу ячменя близкие оценки. Иначе говоря, повышенный уровень пластичности каждого образца почти всегда предполагает меньшую величину его стабильности и наоборот.

Из приведенных значений коэффициентов корреляции между средними уровнями содержания жира в зерне, с одной стороны, и показателями адаптивности образцов по этому биохимическому признаку, с другой (табл. 2), видно, что связь между величиной масличности зерна и параметрами пластичности по признаку содержания жира в зерне была в большинстве случаев отрицательной, а корреляция между рассматриваемым биохимическим признаком и показателями стабильности была положительной, причем она была статистически доказана для параметра Cs. Зарегистрированная в нашем исследовании тенденция позволяет предположить, что успешная селекция ячменя на минимальную пластичность и максимальную стабильность образцов по признаку содержания жира в зерне не будет сопровождаться снижением уровня масличности зерна.

Таблица 2

Связь между средними величинами содержания жира в зерне образцов ячменя, выращенных в разных условиях, и показателями их адаптивности по этому признаку

Значения коэффициентов корреляции				
Cv	d	Hom	ПУСС	Cs
-0,187	-0,014	0,077	0,235	0,684*

Примечание. *Значения коэффициентов корреляции существенны при $p \leq 0,05$.

Table 2

Relationship between average values of fat content in grain of barley varieties grown under different conditions and indicators of their adaptability for this trait

Correlation coefficient values				
Cv	d	Hom	ILSV	Cs
-0.187	-0.014	0.077	0.235	0.684*

Note. *Values of correlation coefficients are significant at $p \leq 0.05$.

Заключение

1. Наименьшей величиной пластичности и наибольшим значением стабильности (и, соответственно, минимальной суммой рангов) по содержанию жира в зерне ячменя отличались образцы ячменя Симон и Паллидум 4727.

2. Образцы ячменя с повышенным содержанием жира в зерне характеризовались более высокими значениями параметров стабильности по этому признаку, причем эта связь была статистически доказана для показателя селекционной ценности сорта Сс. Зафиксированная тенденция свидетельствует о том, что успешная селекция ячменя на минимальную пластичность и максимальную стабильность образцов по признаку содержания жира в зерне не будет, по-видимому, сопровождаться снижением масличности зерна.

Библиографический список

1. *Harland J.* Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans // *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2014. P. 25–45. doi: 10.1533/9780857098481.2.25
2. *Martínez-Subirà M., Romero M.P., Puig E., Macià A., Romagosa I., Moralejo M.* Purple. High β -glucan, hullless barley as valuable ingredient for functional food // *LWT — Food Science and Technology*. 2020. V. 131. No. 9. P. 109582. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109582
3. *Loskutov I.G., Khlestkina E.K.* Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain // *Plants*. 2021. V. 10. No 1. P. 86. doi: 10.3390/plants10010086
4. *Šterna V., Zute S., Jansone I., Kantane I.* Chemical Composition of Covered and Naked Spring Barley Varieties and Their Potential for Food Production // *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2017. V. 67. No. 2. P. 151–158. doi: 10.1515/pjfn-2016-0019
5. *Неттевич Э.Д., Моргунов А.И., Максименко М.И.* Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность, урожайность и качество зерна // *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1985. № 1. С. 66–73.
6. *Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Аниськов Н.И.* Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. Т. 181. Вып. 4. С. 44–55. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55
7. *Левакова О.В.* Селекционная работа по созданию адаптированных к нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 1(73). С. 14–19. doi: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19
8. *Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В.* Адаптивность нового сорта ячменя ярового Омский 101 // *Вестник НГАУ*. 2019. № 3(52). С. 48–58.
9. *Серебренников Ю.И.* Пластичность и стабильность ярового ячменя по урожаю зерна и массе 1000 зерен // *Вестник НГАУ*. 2020. № 2(55). С. 50–59. doi: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-50-59
10. *Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С.* Оценка образцов ячменя на содержание β -глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. № 1. С. 9–19. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58
11. *Tomasi I., Sileoni V., Marconi O., Bonciarelli U., Guiducci M., Maranghi S., Perretti G.* Effect of Growth Conditions and Genotype on Barley Yield and β -Glucan Content of Kernels and Malt // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019. V. 67. No. 22. P. 6324–6335. doi: 10.1021/acs.jafc.9b00891
12. *Kumar A., Verma R.P.S., Singh A., Sharma H.K., Devi G.* Barley landraces: Ecological heritage for edaphic stress adaptations and sustainable production // *Environmental and Sustainability Indicators*. 2020. V. 6. P. 100035. doi: 10.1016/j.indic.2020.100035
13. *Сигачева М.А., Пинчук Л.Г., Гридина С.Б.* Предпосевное озонирование семян как фактор влияния на качество зерна яровой пшеницы // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2013. № 3 (101). С. 021–024.

14. Rosielle A.A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment // *Crop Science*. 1981. V. 21. No. 6. P. 943–946.
15. Хангильдин В.В., Литвиненко Н.А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Научно-технический бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. 1981. № 1. С. 8–14.
16. Reynolds W.K., Hunt C.W., Eckert J.W., Hall M.H. Evaluation of the feeding value of barley as affected by variety and location using near infrared reflectance spectroscopy // *Proceedings of Western Section of American Society of Animal Science*. 1992. V. 43. No. 3. P. 498–501.
17. Griffey C., Brooks W., Kurantz M., Thomason W., Taylor F., Obert D., Moreau R., Flores R., Sohn M., Hicks K. Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food, and biofuels production // *Journal of Cereal Science*. 2010. V. 51. No 1. P. 41–49. doi: 10.1016/j.jcs.2009.09.00456

References

1. Harland J. Authorised EU health claims for barley and oat beta-glucans. In: *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition; 2014. p.25–45. doi: 10.1533/9780857098481.2.25
2. Martínez-Subirà M, Romero MP, Puig E, Macià A, Romagosa I, Moralejo M. Purple, high β -glucan, hullless barley as valuable ingredient for functional food. *LWT — Food Science and Technology*. 2020;131(9):109582. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109582
3. Loskutov IG, Khlestkina EK. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain. *Plants*. 2021;10(1):86. doi: 10.3390/plants10010086
4. Šterna V, Zute S, Jansone I, Kantane I. Chemical Composition of Covered and Naked Spring Barley Varieties and Their Potential for Food Production. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2017;67(2):151–158. doi: 10.1515/pjfn-2016-0019
5. Nettevich ED, Morgunov AI, Maximenko MI. Improving the efficiency of spring wheat selection for stability, productivity and grain quality. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 1985;(1):66–73. (In Russ.).
6. Yusova OA, Nikolaev PN, Bendina YB, Safonova IV, Aniskov NI. Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(4):44–55. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55
7. Levakova OV. The breeding work on development of the spring barley varieties adapted to the non-black earth region of the Russian federation and the prospects for growing of the variety in the Ryazan region. *Grain economy of Russia*. 2021;(1):14–19. (In Russ.). doi: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19
8. Nikolaev PN, Yusova OA, Safonova IV, Aniskov NI. Adaptivity of new variety of Omskiy 101 spring barley. *Bulletin of NSAU*. 2019;(3):48–58. (In Russ.). doi: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-48-58
9. Serebrennikov JI. Spring barley plasticity and stability in terms of grain yield and weight of 1000 grains. *Bulletin of NSAU*. 2020;(2):50–59. (In Russ.). doi: 10.31677/2072-6724-2020-55-2-50-59
10. Polonskiy VI, Surin NA, Gerasimov SA, Lipshin AG, Sumina AV, Zute SA. Evaluation of barley genotypes for the content of β -glucans in grain and other valuable features in Eastern Siberia. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):48–58. (In Russ.). doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58
11. Tomasi I, Sileoni V, Marconi O, Bonciarelli U, Guiducci M, Maranghi S, Perretti G. Effect of Growth Conditions and Genotype on Barley Yield and β -Glucan Content of Kernels and Malt. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019;67(22):6324–6335. doi: 10.1021/acs.jafc.9b00891
12. Kumar A, Verma RPS, Singh A, Sharma HK, Devi G. Barley landraces: Ecological heritage for edaphic stress adaptations and sustainable production. *Environmental and Sustainability Indicators*. 2020;6:100035. doi: 10.1016/j.indic.2020.100035
13. Sigacheva MA, Pinchuk LG, Gridina SB. Pre-seeding seeds ozonation as an influence factor on spring wheat grain quality. *Bulletin of Altai state agricultural university*. 2013;(3):21–24. (In Russ.).
14. Rosielle AA, Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 1981;21(6):943–946. doi: 10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x
15. Hangildin VV, Litvinenko NA. Homeostasis and adaptability of winter wheat varieties. *Scientific and Technical Bulletin of the All-Union Breeding and Genetics Institute*. 1981;(1):8–14. (In Russ.)
16. Reynolds WK, Hunt CW, Eckert JW, Hall MH. Evaluation of the feeding value of barley as affected by variety and location using near infrared reflectance spectroscopy. *Proceedings of Western Section of American Society of Animal Science*. 1992;43(3):498–501.

17. Griffey C, Brooks W, Kurantz M, Thomason W, Taylor F, Obert D, Moreau R, Flores R, Sohn M, Hicks K. Grain composition of Virginia winter barley and implications for use in feed, food, and biofuels production. *Journal of Cereal Science*. 2010;51(1):41–49. doi: 10.1016/j.jcs.2009.09.00456

Об авторах:

Полонский Вадим Игоревич — доктор биологических наук, профессор, Красноярский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 660049, г. Красноярск, пр. Мира, д. 90; Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79; e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru ORCID: 0000-0002-7183-0912 Scopus ID: 24338767400

Сумина Алена Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Российская Федерация 655000, Республика Хакассия, г. Абакан, ул. Ленина, д. 90; e-mail: alenasumina@list.ru

ORCID: 0000-0002-0466-6833 Scopus ID: 57202279705

Герасимов Сергей Александрович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства — обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, д. 50; e-mail: g-s-a2009@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1273-3212 Scopus ID: 57213175155

About authors:

Polonsky Vadim Igorevich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 Mira ave., Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; Siberian Federal University, 79 Svobodny ave., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; e-mail: vadim.polonskiy@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7183-0912 Scopus ID: 24338767400

Sumina Alena Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Khakassian State University named after N.F. Katanov, 90 Lenina st., Abakan, Republic of Khakassia, 655000, Russian Federation; e-mail: alenasumina@list.ru

ORCID: 0000-0002-0466-6833 Scopus ID: 57202279705

Gerasimov Sergey Alexandrovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 50 Academgorodok st., Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: g-s-a2009@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-1273-3212 Scopus ID: 57213175155



Генетика и селекция растений Genetics and plant breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-163-173

EDN MFJLCB

УДК 633.511

Научная статья / Research article

Некоторые аспекты сортоизучения хлопчатника *Gossypium hirsutum L.* в условиях Астраханской области

Е.Г. Мягкова 

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук»,
Астраханская область, Российская Федерация
✉ govsan29@mail.ru

Аннотация. Хлопчатник — ценная культура для народного хозяйства. Создание исходного материала для селекционной работы, а также внедрение в производство высокоурожайных сортов хлопчатника, адаптированных к условиям произрастания — основные задачи, поставленные перед российскими селекционерами. Изучение хозяйственно ценных признаков сортов и сортообразцов хлопчатника проводилось в период 2017–2019 гг. в Прикаспийском аграрном федеральном научном центре Российской академии наук, расположенном на севере Астраханской области. Исследование проводилось с целью выявления потенциала продуктивности, а также определения адаптационных возможностей к экстремальным природно-климатическим условиям Северного Прикаспия. Сорта и сортообразцы хлопчатника сравнивали со стандартом АС-1. Результаты исследований обработаны методами математической статистики. Все сорта и сортообразцы, включенные в сортоизучение, имели хорошие показатели по хозяйственно ценным признакам. Наибольшей урожайностью отличились сорта UZ-4 и Голиот — 3,0 и 2,6 т/га соответственно.

Ключевые слова: урожайность, сорт, стандартное отклонение, волокно, хлопок

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

История статьи: поступила в редакцию 25 января 2022 г., принята к публикации 25 апреля 2023 г.

© Мягкова Е.Г., 2023



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

Для цитирования: Мягкова Е.Г. Некоторые аспекты сортоизучения хлопчатника *Gossypium hirsutum* L. в условиях Астраханской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротомия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 163—173. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-163-173

Some aspects of testing cotton *Gossypium hirsutum* L. in conditions of the Astrakhan region

Elena G. Myagkova 

Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Astrakhan region, Russian Federation
✉ govstan29@mail.ru

Abstract. Cotton is a valuable crop for the Russian economy. Creation of the initial material for breeding work, as well as the introduction into production of high-yielding cotton varieties adapted to growing conditions are the main tasks set for Russian breeders. The study of agronomic traits of cotton varieties was carried out at Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, located in the north of the Astrakhan region, in 2017–2019. The research was performed in order to identify productivity potential, as well as to determine the adaptive capabilities to extreme climatic conditions of the Northern Caspian region. Cotton varieties were compared with the standard (AS-1). The results were processed according to methods of mathematical statistics. All varieties studied in the research had good indicators of agronomic traits. UZ-4 and Goliot varieties were characterized by the highest yield values — 3.0 and 2.6 t/ha, respectively.

Key words: yield, variety, standard deviation, fiber, cotton

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

Article history: Received: 25 January 2022. Accepted: 25 April 2023

For citation: Myagkova EG. Some aspects of testing cotton *Gossypium hirsutum* L. in conditions of the Astrakhan region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):163—173. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-163-173

Введение

Культура хлопчатника возделывается, главным образом, для получения ценного волокна, востребованного текстильной промышленностью. Волокно хлопчатника является самым распространенным натуральным волокном в мире, что делает его главной прядильной культурой. Из семян хлопчатника получают пищевое масло и белок, глицерин, олифу, техническое масло. Отходы после переработки хлопка-сырца используются различными отраслями промышленности. Таким образом, хлопчатник является важной сельскохозяйственной культурой и имеет большое значение для народного хозяйства [1].

Во времена существования Советского Союза хлопчатник возделывался в республиках Средней Азии [2]. Но после того как эти республики получили независимость, России пришлось закупать большую часть волокна из-за рубежа. В настоящее время существует проблема зависимости от импорта хлопка, так

по данным информационной системы Ru-Stat¹, за период 2013–2020 гг. в Россию было импортировано товаров из группы «хлопок» общим весом 1929 тыс. т, их стоимость составила 4,15 млрд долл. Из Узбекистана было импортировано больше всего товаров из группы «хлопок» (42 %), далее следует Китай (16 %). Из одной тонны хлопка-сырца получают в среднем 35 % волокна и 65 % семян. Из одного килограмма волокна можно произвести 12 метров ткани, а тонковолокнистые сорта могут дать даже 20 метров [3].

В группу «хлопок» включены волокна хлопчатника от сырья до переработки на ткани, а также различные текстильные материалы, определяемые как хлопчатобумажные. Из вышесказанного следует, что хлопковое волокно востребовано в России и развитие отечественного хлопководства является важной задачей АПК.

Интенсификация хлопководства предполагает увеличение производства не за счет расширения посевных площадей, а путем повышения урожайности. В связи с этим большое значение придается селекции хлопчатника, созданию сортов, обладающих комплексом хозяйственно полезных признаков — скороспелостью, высокой продуктивностью, устойчивостью к болезням и вредителям, с возможностями противостоять неблагоприятным условиям среды произрастания. Для успешного ведения селекционной работы необходимо располагать исходным материалом, полученным при изучении генетических коллекций, оценке и отборе образцов. Поэтому агробиологическое изучение и оценка коллекционных образцов хлопчатника, направленные на выделение нового перспективного исходного материала и использование его для селекционных целей, является актуальным.

Цель исследований — выделение сортов и сортообразцов с оптимальными показателями хозяйственно ценных признаков (скороспелость, урожайность, выход и длина волокна), максимально приспособленных к конкретным экологическим условиям Астраханской области для использования в селекции.

Материалы и методы исследования

Для выделения сортов и сортообразцов с комплексом хозяйственно ценных признаков и с адаптационными возможностями к аридным условиям Астраханской области был использован коллекционный материал, предоставленный Всероссийским институтом генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). За стандарт был принят сорт АС-1.

Исследования проводили по следующим методическим указаниям:

- Изучение коллекций прядильных культур (Г.Г. Давидян и др.)²;
- Методика полевого опыта Б.А. Доспехова³;
- Классификатор рода *Gossypium* L. (хлопчатник) (В.А. Корнейчук)⁴.

¹ Импорт в Россию. «Хлопок» // Экспорт и импорт России по товарам и странам. Ru-Stat: официальный сайт. Режим доступа: <https://ru-stat.com/date-Y2013-2020/RU/import/world/1152> Дата обращения: 05.01.2022 г

² Изучение коллекций прядильных культур (хлопчатник, лен, конопля): методические указания / Г.Г. Давидян, И.Ф. Другова, С.Н. Кутузова и др. Ленинград, 1978. С. 3–6.

³ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 352 с.

⁴ Корнейчук В.А. Классификатор рода *Gossypium* L. (хлопчатник). Л.: Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР), 1982. 16 с.

Базовые операции статистического анализа данных проводили с применением прикладной программы Excel 2016. Для описания и представления анализируемых данных использована описательная статистика. По каждому хозяйственно ценному признаку сформировали выборку из семи образцов и рассчитали основные статистические показатели. Таким образом, семь значений каждого признака заменялись одним числом, которое потом сравнивали с аналогичным признаком у стандарта. Такая интерпретация результатов измерений позволила оценить изучаемые образцы с точки зрения их перспективности в дальнейшей селекционной работе. Результаты описывали по следующему алгоритму [4]:

- для измерения центральной тенденции использовали среднее арифметическое;
- характеристики изменчивости (разброса) значений относительно среднего — стандартное отклонение и стандартная ошибка среднего. Стандартное отклонение показывает степень рассеивания значений определенного признака у всех образцов вокруг их среднего значения. Точность выборочной оценки среднего характеризуется стандартной ошибкой среднего, которая показывает, насколько мы ошиблись, используя доступную информацию о каком-либо признаке в выборке из семи образцов вместо громоздкой информации за три года изучения⁵.

Для климата регионов, где успешно возделывается хлопчатник, характерны засушливость, достаточные тепловые ресурсы, обилие света, континентальность. Глобальное потепление может положительно сказаться на возможности расширения зоны возделывания в России [5]. На юге России существуют условия, при которых возможно возделывание хлопчатника [6, 7]. Сорты хлопчатника как жаролюбивой культуры требуют соответствия суммы активных температур следующим значениям: наиболее раннеспелые сорта — 2900...3100, среднеспелые — 3400, позднеспелые — 4000 °С. Биологический минимум для начала роста составляет 12 °С⁶. В Астраханской области, где среднегодовая сумма активных температур находится в пределах 3400...3600 °С, имеются условия, отвечающие требованиям культуры хлопчатника. Первые посевы хлопчатника в Астраханской области были предприняты в 1907–1909 гг., средний урожай составлял 0,8 т/га. В советское время хлопчатник в Астраханской области возделывался до 1956 г., в дальнейшем с интеграцией производства он был вытеснен в Среднеазиатские республики и Азербайджан [8]. Климатические условия Астраханской области позволяют выращивать раннеспелые и среднеспелые сорта хлопчатника. При этом аридность климата области является стресс-фактором для возделывания многих сельскохозяйственных культур. Подбор оптимального сортимента культуры хлопчатника значительно снижает негативные последствия воздействия условий внешней среды [9, 10].

По мере формирования и распространения рода *Gossypium* (5...10 млн лет назад) в различные среды, геном хлопчатника подвергался значительные изменениям и перестройкам [11]. Это отражается в таких фенотипических признаках, как тип онтогенеза, жизненная форма растения, цвет венчика, форма листьев, форма семян и т. д. [12].

⁵ Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика: учеб. пособие для студентов мед. вузов. СПб.: Фолиант, 2003 (Акад. тип. Наука РАН). 428 с.

⁶ Синицина Н.И., Гольцберг И.А., Струнников Э.А. Агроклиматология. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 342 с.

Результаты исследования и обсуждения

В Прикаспийском аграрном федеральном научном центре Российской академии наук (ФГБНУ «ПАФНЦ РАН»), начиная с 1990-х гг., хлопчатник возделывается на орошаемых участках, ведется научно-исследовательская работа по этой культуре. За весь период НИР было изучено более 1500 коллекционных образцов хлопчатника со всех стран мира. Из многообразного исходного материала были выделены генотипы по комплексу хозяйственно ценных признаков с периодом вегетации 120 дней, потенциальной урожайностью 2,5...5,0 т/га, выходом волокна 35...40 % и длиной волокна более 30 мм. В результате селекционной работы было выведено 4 сорта хлопчатника с белым волокном АС-4, АС-5, АС-6 и АС-7. Эти сорта имеют четвертый-седьмой тип волокна, наиболее востребованного текстильной промышленностью. В 2018 г. внесен в Госсортирестр сорт хлопчатника Прикаспий-1 с белым волокном, в 2019 г. — сорт Браун с кремовым цветом волокна. В настоящее время продолжается изучение мирового генофонда хлопчатника, существуют перспективные линии для создания новых сортов хлопчатника [13, 14].

В период 2017–2019 гг. в ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» проводилась работа по выделению по основным хозяйственно ценным признакам селекционного материала беловолокнистого хлопчатника. Почва опытного участка по гранулометрическому составу являлась тяжелосуглинистой, иловато-крупнопылевой [15]. Содержание гумуса в слое 0–0,2 и 0,2–0,4 м составило 0,92 и 0,81 %. Реакция рН водной вытяжки в обоих слоях оказалась больше восьми единиц (0–0,2 м — 8,29 и 0,2–0,4 м — 8,60), т.е. почва была среднещелочной. Массовая доля подвижных соединений в почве в слое 0–0,2 и 0,2–0,4 м соответственно составила: фосфора — 24,8 и 25,4 мг/кг, калия — 442 и 172 мг/кг.

Посев хлопчатника осуществлялся вручную из расчета 110 тыс. раст./га, способ полива — капельное орошение.

Гидротермический коэффициент за период вегетации хлопчатника: 2017 г. — 0,5, 2018 г. — 0,2 и 2019 г. — 0,3.

Изучено несколько десятков сортов и сортообразцов беловолокнистого хлопчатника. Из рабочего материала были отобраны образцы, продемонстрировавшие на протяжении трех лет изучения урожайность, превышающую 1,0 т/га (табл. 1).

Таблица 1

Хозяйственно ценные признаки хлопчатника, 2017–2019 гг.

Образец	Масса одной коробочки, г			Выход волокна, %			Длина волокна, мм			Продуктивность одного растения, г			Урожайность, т/га		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
АС-1, st	5,6	5,7	4,9	26,8	33,3	32,6	29,5	31,7	30,5	25,1	17,9	26,5	2,8	2,0	2,9
110001	5,3	5,2	4,0	37,3	33,0	34,1	30,3	34,0	30,8	21,0	16,8	18,4	2,3	1,8	2,0
621038	6,0	5,9	6,0	39,5	33,8	33,6	31,0	31,4	32,1	25,5	13,0	26,3	2,8	1,4	2,9
АС-5	5,8	4,8	4,4	35,3	32,3	37,5	32,8	32,4	30,7	23,8	16,1	23,1	2,6	1,8	2,5
Голиот	5,8	5,1	6,0	35,0	35,9	37,2	31,0	30,0	31,4	17,8	17,8	35,2	2,0	2,0	3,9
UZ-4	5,9	6,8	4,3	32,5	34,7	31,3	30,3	31,8	32,7	14,5	39,0	26,9	1,6	4,3	3,0
UZ-8	5,3	5,3	5,2	38,1	36,0	32,3	30,0	30,0	31,1	14,2	20,6	24,0	1,6	2,3	2,6
Gela	4,2	5,0	4,8	34,7	32,5	33,5	30,0	30,6	30,6	8,8	22,6	21,8	1,0	2,5	2,4

Table 1

Agronomic traits of cotton, 2017–2019

Variety	Pod weight, g			Fiber yield,%			Fiber length, mm			Productivity per 1 plant, g			Yield, t/ha		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
AS-1, st	5.6	5.7	4.9	26.8	33.3	32.6	29.5	31.7	30.5	25.1	17.9	26.5	2.8	2.0	2.9
110001	5.3	5.2	4.0	37.3	33.0	34.1	30.3	34.0	30.8	21.0	16.8	18.4	2.3	1.8	2.0
621038	6.0	5.9	6.0	39.5	33.8	33.6	31.0	31.4	32.1	25.5	13.0	26.3	2.8	1.4	2.9
AS-5	5.8	4.8	4.4	35.3	32.3	37.5	32.8	32.4	30.7	23.8	16.1	23.1	2.6	1.8	2.5
Goliot	5.8	5.1	6.0	35.0	35.9	37.2	31.0	30.0	31.4	17.8	17.8	35.2	2.0	2.0	3.9
US-4	5.9	6.8	4.3	32.5	34.7	31.3	30.3	31.8	32.7	14.5	39.0	26.9	1.6	4.3	3.0
US-8	5.3	5.3	5.2	38.1	36.0	32.3	30.0	30.0	31.1	14.2	20.6	24.0	1.6	2.3	2.6
Gela	4.2	5.0	4.8	34.7	32.5	33.5	30.0	30.6	30.6	8.8	22.6	21.8	1.0	2.5	2.4

Количественные характеристики хозяйственно ценных признаков изучаемых сортов и сортообразцов хлопчатника в сравнении со стандартом приведены в табл. 2.

Таблица 2

Описательная статистика хозяйственно ценных признаков хлопчатника

Основные статистические показатели	Масса одной коробочки, г	Выход волокна,%	Длина волокна, мм	Урожайность, т/га
	АС-1, st			
	5,4	30,9	30,6	2,6
Выборка				
Среднее	5,3	34,8	31,2	2,4
Стандартная ошибка	0,2	0,4	0,3	0,1
Стандартное отклонение	0,5	1,2	0,7	0,4
Коэффициент вариации,%	9,4	3,4	2,2	16,7

Table 2

Descriptive statistics of agronomic traits of cotton

Main statistical indicators	Pod weight, g	Fiber yield,%	Fiber length, mm	Yield, t/ha
	AS-1, st			
	5.4	30.9	30.6	2.6
Selection				
Mean	5.3	34.8	31.2	2.4
Standard error	0.2	0.4	0.3	0.1
Standard deviation	0.5	1.2	0.7	0.4
Coefficient of variation,%	9.4	3.4	2.2	16.7

По признаку «масса одной коробочки» (см. табл. 2) среднее значение изучаемых образцов — 5,3 г (у стандарта — 5,4 г). Разброс значений этого признака в выборке составил 5,3 г ± 0,5 г. Среднее значение массы одной коробочки у семи образцов

за все годы изучения вычислено с ошибкой 0,2 г, можно сказать, что выборочное среднее определено довольно точно.

По признаку «выход волокна» среднее значение по выборке (34,8 %) оказалось бóльшим по сравнению со стандартом (30,9 %), что является положительным моментом. По этому признаку вариация значений в выборке оказалась больше стандартной и составила $34,8 \pm 1,2$ %. Если бы определялось среднее значение выхода волокна у изучаемых образцов за период 2017–2019 гг., то ошибка составила бы 0,4 %.

Длина волокна в выборке из изучаемых образцов в среднем составила 31,2 мм и превысила этот показатель у стандарта (30,6 мм). Все значения в выборке лежали в диапазоне $31,2 \pm 0,7$ мм. Стандартная ошибка оказалась равной 0,3 мм, т.е. если бы определялось среднее значение длины волокна за весь период изучения, то мы бы ошиблись на 0,3 мм.

Среднее значение (2,4 т/га) главного результативного признака — урожайности — оказалось меньше стандарта (2,6 т/га). Мера рассеивания показателей урожайности образцов в выборке составила $2,4 \text{ т/га} \pm 0,4 \text{ т/га}$, ошибка среднего — 0,1 т/га — была наименьшей по сравнению с другими хозяйственно ценными признаками.

Можно сказать, что хозяйственно ценные признаки изучаемых образцов хлопчатника очень незначительно отличались от стандарта, т.е. в конкретных почвенно-климатических условиях демонстрировали похожие значения, что является статистически доказанным.

Сравнение изменчивости параметров изучаемых образцов, выраженных в разных единицах, в данной выборке было проведено посредством вычисления коэффициента вариации. Принято считать, что при коэффициенте вариации меньше 10 % варьирование слабое, при 10...20 % — среднее и при более 20 % — сильное. Параметры у выделенных образцов имеют слабый и средний коэффициент вариации, %: масса одной коробочки — 9,4, выход волокна — 3,4, длина волокна — 2,2, урожайность — 16,7. Проанализировав числовые характеристики выделенных образцов с применением методов математической статистики, можно сказать, что по параметрам «выход волокна» и «длина волокна» выделенные образцы более стабильны или менее варьируют, по параметрам «масса одной коробочки» и «урожайность» — вариаций значительно больше.

Так как главным хозяйственно ценным признаком является урожайность изучаемых образцов, то при полученном коэффициенте вариации 16,7 % возникает вопрос: вариации происходили из-за генетических особенностей образцов или вследствие неучтенного варьирования условий среды и самих растений? Был проведен однофакторный дисперсионный анализ, в ходе которого общая вариация (изменчивость) урожайности раскладывалась на вариацию, обусловленную влиянием генетических особенностей образцов, и на вариацию, вызванную влиянием неучтенных (случайных) факторов. Проверяемой нулевой гипотезой в однофакторном анализе являлась гипотеза о невлинии образцов на урожайность. Результат дисперсионного анализа приведен в табл. 3.

Таблица 3

Дисперсионный анализ урожайности образцов

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-значение	F _{критическое}
Между группами	2,23	6	0,37	0,53	0,78	2,85
Внутри групп	9,90	14	0,71			
Итого	12,13	20				

Table 3

Variety Yield Analysis of Variance

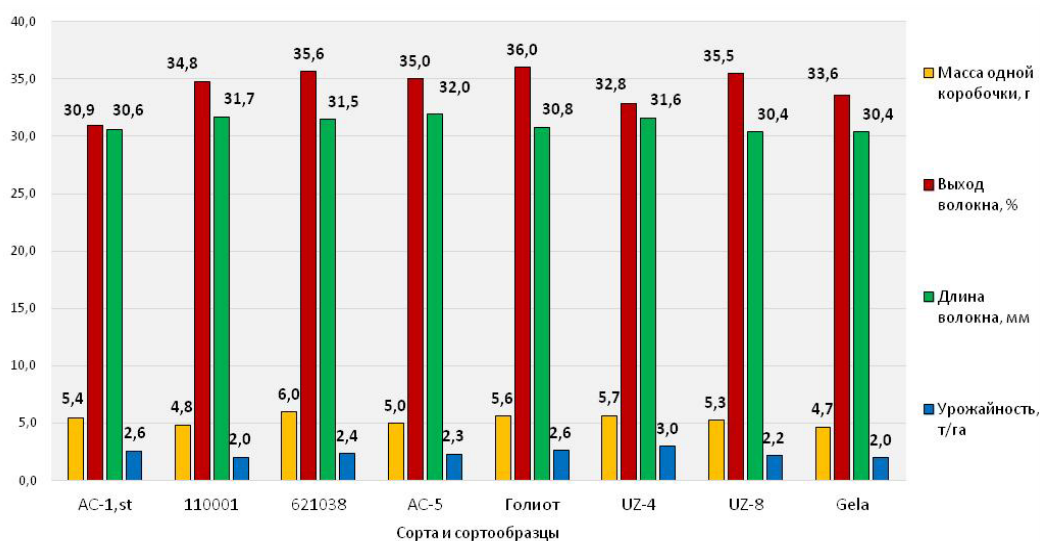
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F _{crit}
Between groups	2.23	6	0.37	0.53	0.78	2.85
Within groups	9.90	14	0.71			
Total	12.13	20				

Поскольку F меньше, чем F_{критическое} (табл. 3), расчет НСР здесь является нецелесообразным. Доля влияния образцов на урожайность составила 18,4 %, а доля неучтенных факторов — 81,6 %.

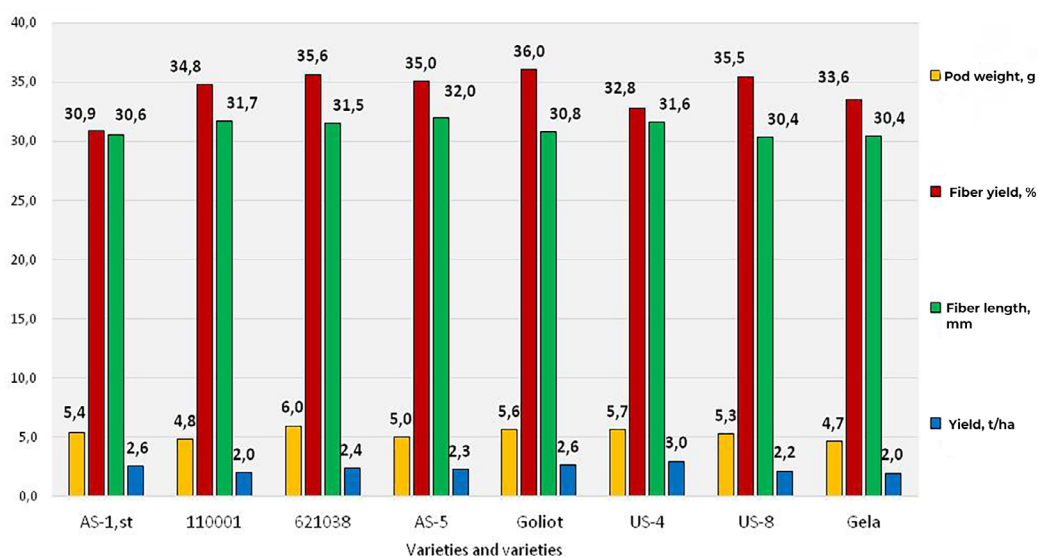
На величину урожайности в большей степени оказали влияние условия среды произрастания. И в этих условиях все изучаемые образцы за период 2017–2019 гг. продемонстрировали хорошую урожайность, в среднем 2,4 т/га, урожайность АС-1, st за этот же период составила 2,6 т/га. Можно предположить, что усовершенствование технологии возделывания хлопчатника позволит получить лучшие урожайные данные. Другие хозяйственно ценные признаки были отмечены со значениями, превышающими аналогичные значения у стандарта, или незначительно им уступающими. Сорта и сортообразцы хлопчатника, выделенные в результате сортоизучения, оказались адаптированными к почвенно-климатическим условиям произрастания.

Представляет интерес потенциал каждого изученного сорта и сортообразца. Визуализация хозяйственно ценных признаков наглядно демонстрирует их динамику в сравнении со стандартом и между собой (рис.).

Сорт с наибольшей урожайностью 3,0 т/га UZ-4 по другим хозяйственно ценным признакам также имеет преимущество перед стандартом (рис.). Далее, по уменьшению урожайности (2,6 т/га) следует сорт Голиот с лучшими по сравнению со стандартом признаками и с самым высоким выходом волокна (36,0 %) из всех изученных сортов и сортообразцов. Все остальные сорта и сортообразцы имели меньшую по сравнению со стандартом урожайность (2,0...2,4 т/га), но больший выход волокна.



Динамика хозяйственно ценных признаков в сравнении со стандартом АС-1, 2017–2019 гг.
Источник: сделано автором



Dynamics of agronomic traits in comparison with the AS-1 standard, 2017–2019
Source: made by the author

Заклучение

По результатам сортоизучения в период 2017–2019 гг. в почвенно-климатических условиях Астраханской области сорт беловолокнистого хлопчатника UZ-4 продемонстрировал урожайность 3,0 т/га, а также имел коробочку массой 5,7 г, выход волокна — 32,8 %, длину волокна — 32,6 мм.

Все эти показатели превышают аналогичные у сорта-стандарта АС-1. Также отмечен сорт Голиот с одинаковой со стандартом урожайностью (2,6 т/га), но лучшими хозяйственно ценными признаками. Эти сорта можно рекомендовать для возделывания в экстремальных климатических условиях Астраханской области.

Библиографический список

1. Рахимов А.Д., Ахмедов Д.Х., Ахмедов Д.Д. Изучение показателей хозяйственно-ценных признаков гибридов средневолокнистого хлопчатника // Модернизация сферы образования и науки с учетом мировых научно-технологических трендов: сб. науч. трудов по материалам Междунар. науч.-практич. конф., 13 июля 2020 г. Белгород: ООО Агентство перспективных научных исследований (АПНИ), 2020. С. 9–11.
2. Нестеренко Г.И. Экологические испытания сортов хлопчатника из Ирана в астраханской области // Вестник КрасГАУ. 2020. № 9 (162). С. 36–40. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-9-36-40
3. Асфандиярова М.Ш., Рыбакова Т.П. Возделывание хлопчатника в аридных условиях Северо-Западного Прикаспия // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования, с. Соленое Займище, 28 февраля 2018 года. с. Соленое Займище: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, 2018. С. 523–526. EDN YWMFVU
4. Баврина А.П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях // Медицинский альманах. 2020. № 2(63). С. 95–104.
5. Ходжаева Н.А., Подольная Л.П. Анализ зависимости качества волокна хлопчатника от погодных условий восточной зоны Ставропольского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183(3). С. 48–58. doi: 10.30901/2227-8834-2022-3-48-58
6. Григорьев С.В., Якушева Т.В. Исследование коллекционных образцов хлопчатника *Gossypium hirsutum* L. в условиях Краснодарского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. № 179(3). С. 126–133. doi: 10.30901/2227-8834-2018-3-126-133
7. Шахмедова Ю.И., Нестеренко Г.И. Адаптация образцов хлопчатника Австралии и Китая к условиям Прикаспийской низменности // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 2 (38). С. 176–179.
8. Асфандиярова М.Ш., Мяжкова Е.Г., Еремин В.А., Петрова Ю.К. Результаты изучения хлопчатника вида *G. hirsutum* L. с белым и природноокрашенным волокном // Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сборник материалов Международной научно-практической конференции посвященной памяти академика РАН В.П. Зволинского и 30-летию создания ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», Соленое Займище, 10–12 августа 2021 года. Соленое Займище: Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2021. С. 182–187. EDN LXMZBP
9. Токарев Н.А., Бочарникова Л.С., Нестеренко Г.И. Особенности агротехнических мероприятий на элитно-семеноводческих посевах в условиях Астраханской области // Орошаемое земледелие. 2019. № 2. С. 54–57.
10. Токарев Н.А., Нестеренко Г.И., Бочарникова Л.С. Приемы ускорения созревания коробочек хлопчатника // Орошаемое земледелие. 2018. № 1. С. 11–12.
11. Hendrix B., Stewart J.M. Estimation of the nuclear DNA content of *Gossypium* species // Annals of Botany. 2005. Vol. 95. № 5. P. 789–797. doi: 10.1093/aob/mci078
12. Strygina K., Khlestkina E., Podolnaya L. Cotton genome evolution and features of its structural and functional organization // Biological Communications. 2020. Vol. 65. № 1. P. 15–27. doi: 10.21638/spbu03.2020.102
13. Подольная Л.П., Григорьев С.В., Илларионова К.В., Асфандиярова М.Ш., Туз Р.К., Ходжаева Н.А., Мирошниченко Е.В. Хлопчатник в России. Актуальность и перспективы // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 29(7). С. 56–58.
14. Токарева Н.Д., Шахмедова Г.С., Жарикова Н.Ю. Сорта средневолокнистого хлопчатника для юга России // Научный альманах. 2015. № 8(10). С. 1163–1166.
15. Мяжкова Е.Г. Адаптивность сортов перца сладкого при возделывании в почвенно-климатических условиях Астраханской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16. № 1. С. 30–41. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-1-30-41

References

1. Rakhimov AD, Akhmedov DH, Akhmedov DD. Study of the indicators of economically valuable traits of hybrids of medium-fiber cotton. In: *Modernization of the sphere of education and science taking into account world scientific and technological trends: conference proceedings*. Belgorod: Agency for Advanced Scientific Research publ.; 2020. p.9–11. (In Russ.).

2. Nesterenko GI. Ecological tests of cotton varieties from Iran in Astrakhan region. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020;(9):36–40. (In Russ.). doi: 10.36718/1819–4036–2020–9–36–40
3. Asfandiyarova MS, Rybakova TP. Cotton cultivation in arid conditions of the North-Western Caspian Sea. In: *Current ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of rational nature management: conference proceedings*. Caspian Research Institute of Agriculture publ.; 2018. p.523–526. (In Russ.).
4. Bavrina AP. Modern rules for the use of descriptive statistics methods in biomedical research. *Medical almanac*. 2020;(2):95–104. (In Russ.).
5. Khodzhaeva NA, Podolnaya LP. Analysis of the relationship between cotton fiber quality and weather conditions in the southeast of Stavropol Territory. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2022;183(3):48–58. (In Russ.). doi: 10.30901/2227–8834–2022–3–48–58
6. Grigoryev SV, Yakusheva TV. The study of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) accessions in Krasnodar region. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2018;179(3):126–133. (In Russ.). doi: 10.30901/2227–8834–2018–3–126–133
7. Shakhmedova YI, Nesterenko GI. Adaptation of the Australian and Chinese cotton plant samples of to the conditions of the Caspian lowland region. *Development problems of regional agro-industrial complex*. 2019;(2):176–179. (In Russ.). doi: 10.15217/issn2079–0996.2019.2.176
8. Asfandiyarova MS, Myagkova EG, Eremin VA, Petrova YK. Results of studying *G. hirsutum* L. cotton with white and naturally colored fiber. In: *Scientific support for sustainable development of the agro-industrial complex: conference proceedings*. Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the RAS publ.; 2021. p.182–187. (In Russ.).
9. Tokarev NA, Bocharnikova LS, Nesterenko GI. Features of agrotechnical measures on the elite seed-growing crops of cotton growing in Astrakhan region. *Irrigated agriculture*. 2019;(2):54–57. (In Russ.). doi: 10.35809/2618–8279–2019–2–15
10. Tokarev NA, Nesterenko GI, Bocharnikova LS. Methods of accelerating the maturation of cotton pods. *Irrigated agriculture*. 2018;(1):11–12. (In Russ.).
11. Hendrix B, Stewart JM. Estimation of the nuclear DNA content of *Gossypium* species. *Annals of Botany*. 2005;95(5):789–797. doi: 10.1093/aob/mci078
12. Strygina K, Khlestkina E, Podolnaya L. Cotton genome evolution and features of its structural and functional organization. *Biological Communications*. 2020;65(1):15–27. doi: 10.21638/spbu03.2020.102
13. Podolnaya LP, Grigorev SV, Illarionova KV, Asfandiyarova MS, Tuz RK, Khodjaeva NA, Miroshnichenko EV. Cotton in Russia. Actuality and prospects. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2015;29(7):56–58. (In Russ.).
14. Tokareva ND, Shakhmedova GS, Zharikova NY. Varieties of medium-fiber cotton for the south of Russia. *Science Almanac*. 2015;(8):1163–1166. (In Russ.). doi:10.17117/na.2015.08.963
15. Myagkova EG. Adaptability of sweet pepper varieties under cultivation in the soil and climatic conditions of the Astrakhan region. *RUDN journal of agronomy and animal industries*. 2021;16(1):30–41. (In Russ.). doi: 10.22363/2312–797X-2021–16–1–30–41

Об авторе:

Мягкова Елена Георгиевна — научный сотрудник, врио зав. лабораторией технических и масличных культур, Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук, 416251, Российская Федерация, Астраханская область, Черноярский район, с. Солёное Займище, квартал Северный, д. 8; e-mail: govstan29@mail.ru
ORCID: 0000–0002–0631–9253

About the author:

Myagkova Elena Georgievna — Researcher, Acting Head of the Laboratory of Technical and Oilseed Crops, Caspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 8, Severniy st., Solenoe Zaymische vil., Chernoyarskiy district, Astrakhan region, 416251; e-mail: govstan29@mail.ru
ORCID: 0000–0002–0631–9253



Защита растений Plant protection

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-174-185

EDN MMDGWU


УДК 635.25:632.3

Научная статья / Research article

Влияние *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *allii* на проращивание 12 сортов лука репчатого

Н.Д. Кавиза¹  , М. Заргар¹ , С.И. Приходько²,Е.Н. Пакина¹ , С. Диаките¹ ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Всероссийский центр карантина растений,

г. Быково, Московская область, Российская Федерация

 [njkhavhiza@rocketmail.com](mailto:njkavhiza@rocketmail.com)

Аннотация. Бактериальный ожог лука — проблемное заболевание, причиняющее ущерб производству лука во многих странах. Заболевание передается через семена, поэтому с ним трудно справиться. Исследование основано на изучении влияния бактерий на проращивание различных коммерческих сортов лука. Двенадцать коммерческих сортов были получены с рынка и инокулированы бактериями, а затем проверены на процент проращивания и энергию проращивания. Для большинства сортов лука уровень ингибирования проращивания увеличивался с увеличением концентрации бактерий. На 5-й день наблюдений всхожесть семян лука сорта Карантанский при их инокулировании бактериями в концентрации 10^8 КОЕ/мл значительно отличалась от контрольного варианта. В то же время при использовании бактерий в концентрации 10^6 КОЕ/мл всхожесть семян была схожей с контролем. На 14-й день наблюдений было выявлено, что у большинства сортов лука самая высокая концентрация (10^8 КОЕ/мл) вызывала наивысший уровень ингибирования, в то время как при 10^6 КОЕ/мл наблюдались умеренные уровни, а при низшей концентрации (10^4 КОЕ/мл) — наименьшее ингибирование. У сорта Халцедон семена не прорастали ни при одной из бактериальных концентраций по сравнению со всхожестью 8 % в контроле. Что касается энергии проращивания, на 5-й день наблюдений самая высокая концентрация инокулята оказала

© Кавиза Н.Д., Заргар М., Приходько С.И., Пакина Е.Н., Диаките С., 2023

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

наибольшее влияние на 3 сорта: Мячковский 300, Кармен МС и Халцедон с энергией прорастания 3, 2 и 0 % соответственно. У большинства сортов самая высокая концентрация бактерий 10^8 КОЕ/мл оказала наименьшее влияние на энергию прорастания, за ней следуют 10^6 КОЕ/мл, а наибольшее — 10^4 КОЕ/мл на 14-й день наблюдений. Однако для сортов Карантанский и Халцедон не было различий во влиянии концентраций, хотя все обработки значительно отличались от контроля ($p < 0,05$).

Ключевые слова: *Allium cepa*, семена лука репчатого, бактериальный ожог лука, всхожесть, энергия прорастания семян

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

История статьи: поступила в редакцию 19 декабря 2022 г., принята к публикации 3 марта 2023 г.


Для цитирования: Кавиза Н.Д., Заргар М., Приходько С.И., Пакина Е.Н., Диаките С. Влияние *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *allii* на проращивание 12 сортов лука репчатого // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С.174—185. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-174-185

Influence of *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *allii* on germination of 12 onion varieties

Nyasha J. Kavhiza¹  , Meisam Zargar¹ , Svetlana I. Prikhodko²,
Elena N. Pakina¹ , Simbo Diakite¹ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²All-Russian Plant Quarantine Center, Moscow Region, Russian Federation

 njkavhiza@rocketmail.com

Abstract. Onion bacterial blight is a problematic disease affecting onion production in many countries. The disease is seed-transmitted, hence difficult to control. The study was based on the effects of bacteria on germination percentage and germination energy of various commercial onion varieties. Twelve commercial varieties were obtained from the market and inoculated with bacteria and then tested for germination percentage and germination energy. For most onion varieties, the level of germination inhibition increased with increasing bacterial concentration. On the 5th day of recording, the germination of onion seeds of the variety Karantansky which were inoculated with bacteria at a concentration of 10^8 CFU/ml differed significantly from the germination of seeds in the control variant. At the same time, seed germination was similar to the control when using bacteria at a concentration of 10^6 cfu/ml. On the 14th day of record, it was found that the highest concentration (10^8 CFU/ml) caused the highest level of inhibition in most onion seeds, while moderate levels were observed at 10^6 CFU/ml and the lowest concentration (10^4 CFU/ml) caused the least inhibition. In the cultivar Khaltседон, seeds did not germinate at any of the bacterial concentrations compared to 8 % germination in the control. Regarding germination energy, the highest concentration of inoculum on the 5th day of record had the greatest effect in 3 varieties: Myachkovsky 300, Carmen MS and Khaltседон with germination energy of 3, 2 and 0 %, respectively. In most varieties, the highest bacterial concentration of 108 CFU/ml had the least effect on germination energy, followed by 10^6 CFU/ml and the highest of 10^4 CFU/ml on the 14th day of record. However, there were no differences in the effect of concentrations for the varieties Karantansky and Khaltседон, although all treatments differed significantly from controls ($p < 0.05$).

Keywords: *Allium cepa*, onion seeds, onion bacterial blight, germination, seed germination energy

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

Article history: Received: 19 December 2022. Accepted: 3 March 2023.

For citation: Kavhiza NJ, Zargar M, Prikhodko SI, Pakina EN, Diakite S. Influence of *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *allii* on germination of 12 onion varieties. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):174–185. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-174-185

Введение

Лук — одна из важных овощных культур, выращиваемых во всем мире [1]. *Xanthomonas euvesicatoria* pv. *allii* — бактерия, поражающая урожай лука и других представителей рода *Allium* [2–4]. Эта бактерия вызывает бактериальный ожог лука, болезнь, передающуюся через семена [5, 6]. Явление торможения прорастания семян бактериями широко распространено в природе. Существуют ризобактерии, которые естественным образом подавляют прорастание некоторых видов растений, например ингибирование прорастания *Striga hermonthica*, вызванное сапрофитными флуоресцентными видами *Pseudomonas* [7]. Некоторые бактерии, стимулируя рост определенных видов растений, подавляют рост паразитических или конкурирующих видов растений, например, *Azospirillum brasilense*, положительно влияя на семена сорго, подавляет прорастание *Striga harmonthica* [8].

По данным исследований [9], механизм ингибирования прорастания семян *Orobanche aegyptiaca* бактериями *Azospirillum brasilense* связан с рядом синтетических пептидов, которые могут конкурировать за место связывания стимулятора прорастания. Использование *Rhizobium leguminosarum* в производстве гороха подавляло рост *O. crenata*, паразитирующего на горохе растения. Снижение уровня всхожести у *O. crenata* может быть связано с повышенной активностью пероксидазы и высокой активностью фенилаланин-аммиак-лиазы в корнях, повышенных при инокуляции *Rhizobium leguminosarum* [10]. Бактерии, переносимые семенами, обычно подавляют прорастание, продуцируя фитогормоны, фитотоксины или цианиды. Более того, они могут конкурировать с растением за питательные вещества или косвенно за счет сокращения колонизации полезных ризобий или микоризы [11].

Цель нашего исследования — изучение влияния *X. euvesicatoria* pv. *allii* на прорастание семян лука. В задачи исследования входило выяснить степень влияния возбудителя на параметры всхожести семян лука репчатого. Исследование проводится *in vitro*, что дает представление о динамике того, что может происходить в почве. Исследование раскрывает потенциальные последствия, которые могут быть вызваны при выращивании семян лука в почвах, зараженных бактериями.

Материалы и методы исследования

Штамм CFBP 6369 [12] культивировали в течение 48 ч на среде YPGA. Затем бактерии использовали для приготовления десятикратных серийных разведений. Для каждого разведения 50 мкл высевали на среду YGPA для подсчета чашек, чтобы определить количество колониеобразующих единиц (КОЕ) на разведение.

Схема опыта. Эксперимент был организован по полной рандомизированной схеме (CRD) с трехкратной повторностью. Были приготовлены три концентрации бактерий: 10^8 , 10^6 и 10^4 КОЕ/мл. В качестве отрицательного контроля использовали дистиллированную воду. Заготовлены семена 12 товарных сортов лука репчатого (табл. 1). Для каждого сорта концентрации повторяли 3 раза. В каждую чашку Петри помещали по сто семян.

Таблица 1

Table 1

Товарные сорта лука, использованные в исследовании		Commercial onion varieties used in the study	
№	Сорт	№	Variety
1	Пьеро	1	Pyero
2	Русская зима	2	Russkaya zima
3	Карантанский	3	Karantansky
4	Кармен М.С.	4	Karmen M.S.
5	Летний бриз	5	Letny briz
6	Стригуновский местный	6	Strigunovsky mestnyi
7	Април	7	April
8	Штутгартер Ризен	8	Shtutgarter Rizen
9	Мячковский 300	9	Myachkovsky 300
10	Даниловский 301	10	Danilovsky 301
11	Халцедон	11	Khaltседон
12	Эллан	12	Ellan

Искусственное заражение. В каждую чашку Петри, содержащую 100 семян, наносили аликвоты по 5 мл бактериальной взвеси. Затем чашки Петри инкубировали при комнатной температуре в течение 2 ч. По истечении инкубационного периода с семян сливали бактериальную взвесь. Затем семена оставляли сушиться при комнатной температуре.

Инкубация. Сухие инокулированные семена затем переносили в чашки Петри, дно которых выстланы фильтровальной бумагой диаметром 9 см. В чашки Петри добавляли дистиллированную воду. Затем чашки Петри помещали в инкубатор при температуре 21 °С в темных условиях. Семена инкубировали в течение 14 дней.

Запись и анализ данных. Проводились ежедневные рутинные проверки и при необходимости добавлялась вода. Первую регистрацию с учетом энергии прорастания проводили на 5-е сутки. Вторая и последняя запись была сделана на 14-й день. Объединенные данные были проанализированы с использованием программного обеспечения Minitab версии 18. Среднее разделение было выполнено с использованием теста Tukey.

Результаты исследования и обсуждение

Влияние концентрации инокулята на прорастание семян лука. На 5-й день наблюдений все 3 концентрации бактерий значительно подавляли прорастание семян лука. Для большинства сортов лука уровень ингибирования прорастания семян увеличивался с увеличением концентрации бактерий (табл. 2). Всхожесть семян лука сорта Карantanский при их инокулировании бактериями в концентрации 10^8 КОЕ/мл значительно отличалась от контрольного варианта. В то же время при использовании бактерий в концентрации 10^6 КОЕ/мл всхожесть семян была схожей с контролем. Для таких сортов, как Кармен МС и Халцедон, не было выявлено существенных различий между концентрациями, хотя все обработки значительно отличались ($p < 0,05$) от контроля. Для этих двух сортов уровень ингибирования был более выраженным. У Кармена МС процент всхожесть снизился с 17 в контроле до 2...4 % в вариантах. У Халцедона на 5-й день наблюдений не было отмечено прорастания во всех трех концентрациях.

Таблица 2

Всхожесть семян лука репчатого на 5-й день наблюдений

Сорт	Всхожесть,%, при концентрации бактерий			
	10^8	10^6	10^4	Контроль
Пьеро	62с	71b	77b	91a
Русская зима	56b	58b	69a	85a
Карantanский	9b	14a	16a	17a
Кармен М.С.	2b	3b	4b	17a
Летний бриз	17с	23b	26ab	27a
Стригуновский местный	24с	26bc	30ab	35a
Април	21b	30ab	35a	37a
Штутгартер Ризен	14с	20b	25b	30a
Мячковский 300	3с	14b	16b	29a
Даниловский 301	42с	73b	79a	80a
Халцедон	0b	0b	0b	2a
Эллан	7с	16b	22a	25a

*Разные буквы в одной строке обозначают статистически значимые различия.

Table 2

Germination capacity of onion seeds on the 5th day of record

Variety	Germination,%, at the concentration of bacteria			
	10^8	10^6	10^4	Control
Pyero	62с	71b	77b	91a
Russkaya zima	56b	58b	69a	85a
Karantansky	9b	14a	16a	17a
Karmen M.S.	2b	3b	4b	17a
Letny briz	17с	23b	26ab	27a

Variety	Germination,%, at the concentration of bacteria			
	10 ⁸	10 ⁶	10 ⁴	Control
Strigunovsky mestnyi	24c	26bc	30ab	35a
April	21b	30ab	35a	37a
Shtutgartner Rizen	14c	20b	25b	30a
Myachkovsky 300	3c	14b	16b	29a
Danilovsky 301	42c	73b	79a	80a
Khaltседон	0b	0b	0b	2a
Ellan	7c	16b	22a	25a

*Different letters on the same line indicate statistically significant differences.

На 14-й день наблюдений различные концентрации инокулята оказывали значительное ингибирование ($p < 0,05$) всхожести семян различных сортов лука, как показано в табл. 3. Кроме того, для большинства семян сортов лука наблюдались различия в уровне ингибирования всхожести при разных концентрациях инокулята. Таким образом, наибольшая концентрация (10^8 КОЕ/мл) вызывала самый высокий уровень ингибирования, в то время как при 10^6 КОЕ/мл наблюдались умеренные уровни, а при наименьшей концентрации (10^4 КОЕ/мл)— наименьшее ингибирование. У сорта Кармен МС характер ингибирования прорастания семян сместился на 14-й день наблюдений, где была самая низкая всхожесть (4 %) при концентрации инокулята 10^8 КОЕ/мл, хотя всхожесть семян при концентрации 10^6 и 10^4 КОЕ/мл были статистически схожи. У семян сорта Халцедона аналогичная картина, наблюдаемая на 5-й день наблюдений, сохранялась и на 14-й день наблюдений: семена не прорастали ни при одной из концентраций бактерий по сравнению с показателем всхожести 8 % в контроле.

Таблица 3

Всхожесть на 14-й день наблюдений

Сорт	Всхожесть,%, при концентрации бактерий			
	10 ⁸	10 ⁶	10 ⁴	Контроль
Пьеро	80c	84bc	86b	96a
Русская зима	59d	66c	75b	92a
Карантанский	54b	56b	57b	83a
Кармен М.С.	4c	6bc	8b	45a
Летний бриз	55c	61b	68a	73a
Стригуновский местный	45b	48b	51b	87a
Април	45c	51bc	55b	82a
Штуттгартер Ризен	21c	52b	67a	69a
Мячковский 300	4d	22c	35b	85a
Даниловский 301	50d	76c	83b	94a
Халцедон	0b	0b	0b	8a
Эллан	23c	26c	46b	53a

*Разные буквы в одной строке обозначают статистически значимые различия.

Germination capacity of onion seeds on the 14th day of record

Variety	Germination,%, at the concentration of bacteria			
	10 ⁸	10 ⁶	10 ⁴	Control
Pyero	80c	84bc	86b	96a
Russkaya zima	59d	66c	75b	92a
Karantansky	54b	56b	57b	83a
Karmen M.S.	4c	6bc	8b	45a
Letny briz	55c	61b	68a	73a
Strigunovsky mestnyi	45b	48b	51b	87a
April	45c	51bc	55b	82a
Shtutgarter Rizen	21c	52b	67a	69a
Myachkovsky 300	4d	22c	35b	85a
Danilovsky 301	50d	76c	83b	94a
Khaltседон	0b	0b	0b	8a
Ellan	23c	26c	46b	53a

*Different letters on the same line indicate statistically significant differences.

Влияние концентрации бактерий на энергию прорастания. Как показано на рис. 1, на 5-й день наблюдений различные концентрации инокулята влияли ($p < 0,05$) на энергию прорастания 12 сортов лука. Концентрация инокулята и энергия прорастания были обратно пропорциональны, т.е. увеличение концентрации бактерий соответствовало низкой всхожести семян лука. Самая высокая концентрация инокулята оказала наибольшее влияние на 3 сорта, а именно Мячковский 300, Кармен МС и Халцедон с энергией прорастания 3, 2 и 0 % соответственно.

На 14-й день наблюдений все концентрации инокулята значительно снижали энергию прорастания семян у сортов лука (рис. 2). У большинства сортов самая высокая концентрация бактерий 10⁸ КОЕ/мл оказала наименьшее влияние на энергию прорастания, за ней следуют 10⁶ КОЕ/мл, а наибольшее — 10⁴ КОЕ/мл. Однако для сортов Карантанский и Халцедон не было различий во влиянии концентраций, хотя все обработки значительно отличались от контроля ($p < 0,05$). Энергия прорастания была выше в контроле на 2...8 % на сорте Халцедон по сравнению с обработанными бактериями.

Результаты исследований показали, что три концентрации бактерий значительно подавляли прорастание семян 12 сортов лука. Автор [13] инокулировал семена перца и томата *Xanthomonas campestris vesicatoria* и отметил, что ингибирование прорастания увеличивалось с увеличением концентрации бактерий. Этот аспект наблюдался для большинства протестированных нами сортов, и результаты совпадали с [13].

Некоторые сортовые различия можно отнести к разным обработкам [14]. Есть сорта, которые одинаково реагировали на каждую концентрацию бактерий. На 5-й день учета у сортов Кармен МС и Халцедон подавление всхожести было равно-

мерным при разных концентрациях. Однако на 14-й день самая высокая концентрация, по-видимому, оказала влияние на Кармен МС, поскольку она значительно отличалась от двух других концентраций 10^6 и 10^4 КОЕ/мл. Однако у Халцедона характер прорастания не изменился, поскольку он оставался однородным при 3 концентрациях на 14-й день. Можно сделать вывод, то сорт Халцедон является наиболее восприимчивым к *X. euvesicatoria* pv. *allii*.

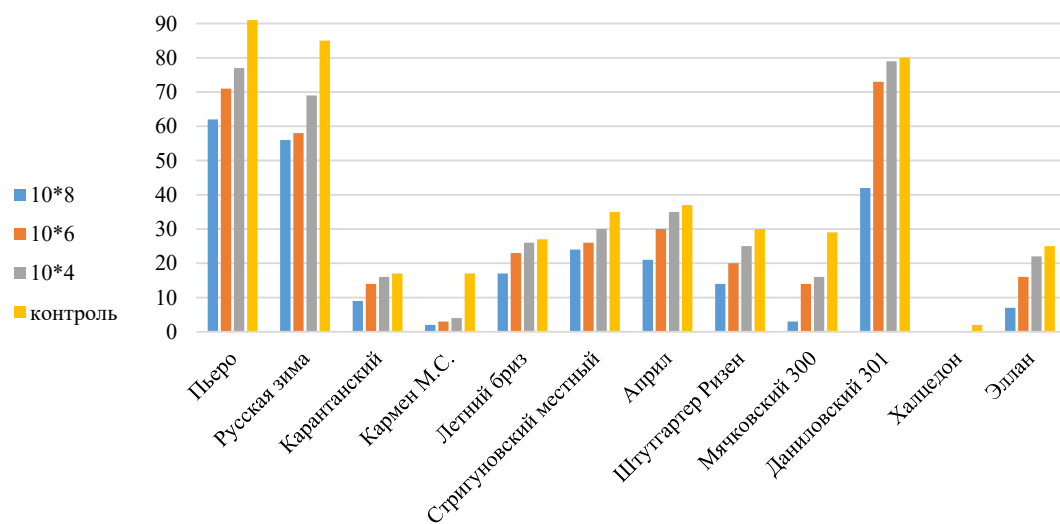


Рис. 1. Энергия прорастания при различных концентрациях на 5-й день наблюдений, %
Источник: сделано авторами

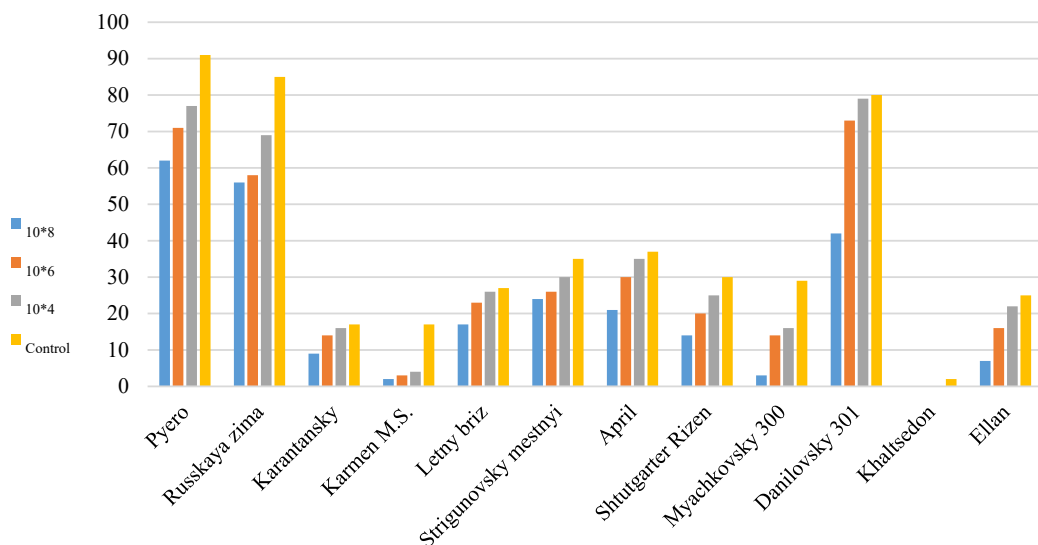


Fig. 1. Germination rate at various bacteria concentrations on the 5th day of record, %
Source: made by the authors

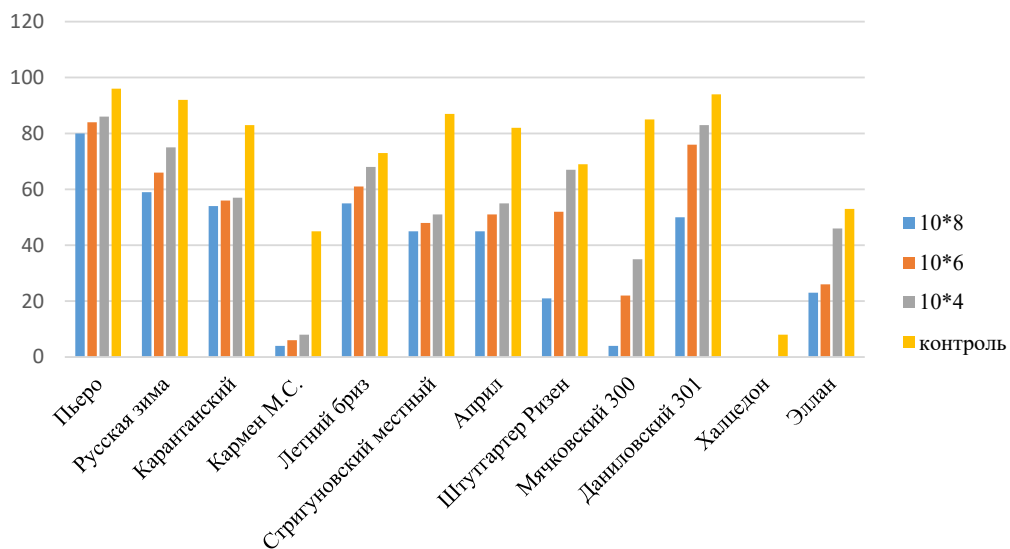


Рис. 2. Уровень прорастания при различных концентрациях бактерий на 14-й день наблюдений, %
 Источник: сделано авторами

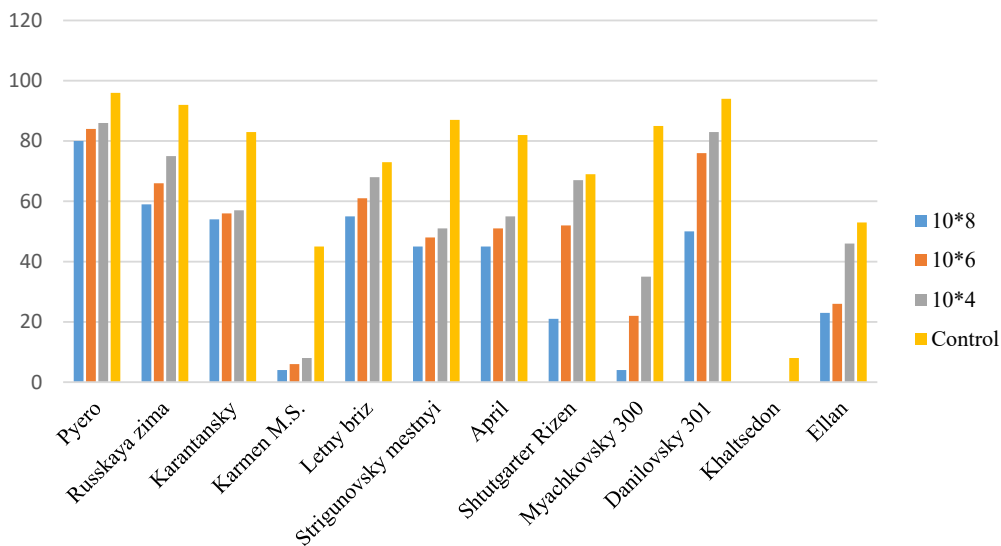


Fig. 2. Germination rate at various bacteria concentrations on the 14th day of record, %
 Source: made by the authors

На энергию прорастания семян 12 сортов влияла концентрация бактерий. В [9] упомянули о факторе *A. brasilense*, который существенно влияет на энергию прорастания *O. aegyptiaca*. Некоторые низкомолекулярные пептиды вырабатываются

бактериями, которые связываются с местом прорастания семян, влияя на прорастание в течение определенного периода времени и снижая энергию прорастания. Чем выше концентрация инокулята, тем ниже энергия прорастания сортов. Высокая концентрация инокулята совпадает с длительным ингибированием прорастания, следовательно, с низкой энергией прорастания.

Хотя энергия прорастания в целом увеличилась у большинства сортов, она не изменилась у халцедона, который оставался постоянным на нуле. Более того, тот факт, что разные концентрации оказывали однородное влияние на энергию прорастания Карантанского и Халцедона, может свидетельствовать о восприимчивости двух сортов даже при низких концентрациях. Это согласуется с выводами [7], в результате чего было доказано, что *S. hermonthica* очень чувствительна к флуоресцентным *Pseudomonas spp.* используется в исследовании. Кроме того, у Халцедона самая низкая энергия прорастания (0), что свидетельствует о высокой восприимчивости этого сорта к бактериям *X. euvesicatoria* pv. *allii*.

Заключение

Исследование показало, что бактериальная инокуляция 12 товарных сортов лука оказала значительное влияние на всхожесть и энергию прорастания. У большинства сортов лука самая высокая концентрация 10^8 КОЕ/мл бактерий вызывала самый высокий уровень ингибирования прорастания, тогда как при самой низкой концентрации 10^4 было достигнуто наименьшее ингибирование. Более того, самая высокая концентрация значительно снижала силу прорастания сортов. Показано, что самая низкая концентрация 10^4 оказывает наименьшее влияние на энергию прорастания сортов. Таким образом, результаты показывают, что присутствие бактерий в почве или питательной среде может привести к снижению всхожести и энергии прорастания семян.

Библиографический список / References

1. Nikus O, Mulugeta F. *Onion seed production techniques. A Manual for Extension Agents and Seed Producers*. Asella, Ethiopia; 2010.
2. Kadota I, Uehara K, Shinohara H, Nishiyama K. Bacterial Blight of Welsh Onion: A New Disease Caused by *Xanthomonas campestris* pv. *allii* pv. nov. *J Gen Plant Pathol*. 2000;66:310–315. doi: 10.1007/PL00012970
3. Pruvost O, Robène I, Escalon A, Leduc A, Gagnevin L, Vernière C, et al. The Dynamic World of the Genus *Xanthomonas*. In: Schwartz HF, Gent DH, Alvarez AM, Leduc A, Royer M, Vowell TS, et al. (eds.) *Virulence Mechanisms of Plant-Pathogenic Bacteria*. The American Phytopathological Society; 2016. p.381–418. doi: 10.1094/9780890544495.021
4. Robène-Soustrade I, Legrand D, Gagnevin L, Chiroleu F, Laurent A, Pruvost O. Multiplex Nested PCR for Detection of *Xanthomonas axonopodis* pv. *allii* from Onion Seeds. *Appl Environ Microbiol*. 2010;76(9):2697–2703. doi: 10.1128/AEM.02697–09
5. Gent DH, Schwartz HF, Ishimaru CA, Louws FJ, Cramer RA, Lawrence CB. Polyphasic Characterization of *Xanthomonas* Strains from Onion. *Phytopathology*. 2004;94(2):184–195. doi: 10.1094/PHYTO.2004.94.2.184
6. Humeau L, Roumagnac P, Picard Y, Robène-Soustrade I, Chiroleu F, Gagnevin L, et al. Quantitative and molecular epidemiology of bacterial blight of onion in seed production fields. *Phytopathology*. 2006;96(12):1345–1354. doi: 10.1094/PHYTO-96-1345

7. Ahonsi MO, Berner DK, Emechebe AM, Lagoke ST. Selection of rhizobacterial strains for suppression of germination of *Striga hermonthica* (Del.) Benth. seeds. *Biological Control*. 2002;24(2):143–152. doi: 10.1016/S1049-9644(02)00019-1
8. Miché L, Bouillant ML, Rohr R, Salle G, Bally R. Physiological and Cytological Studies on the Inhibition of *Striga* Seed Germination by the Plant Growth-promoting Bacterium *Azospirillum brasilense*. *European Journal of Plant Pathology*. 2000;106:347–351. doi: 10.1023/A:1008734609069
9. Dadon T, Nun NB, Mayer AM. A factor from *Azospirillum brasilense* inhibits germination and radicle growth of *Orobanchae aegyptiaca*. *Israel Journal of Plant Sciences*. 2004;52(2):83–86. doi: 10.1560/Q3BA-8BJW-W7GH-XHPX
10. Mabrouk Y, Zourgui L, Sifi B, Delavault P, Simier P, Belhadj O. Some compatible *Rhizobium leguminosarum* strains in peas decrease infections when parasitised by *Orobanchae crenata*. *Weed Research*. 2007;47(1):44–53. doi: 10.1111/j.1365-3180.2007.00548.x
11. Patil VS. Isolation, characterization and identification of rhizospheric bacteria with the potential for biological control of *Sida acuta*. *J Environ Res Develop*. 2014;8(3):411–417.
12. Roumagnac P, Gagnevin L, Pruvost O. Detection of *Xanthomonas* sp., the Causal Agent of Onion Bacterial Blight, in Onion Seeds Using a Newly Developed Semi-selective Isolation Medium. *European Journal of Plant Pathology*. 2000;106:867–877. doi: 10.1023/A:1008743120242
13. Bashan Y. Inhibition of seed germination and root development caused by *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* in pepper and tomato. *Journal of phytopathology*. 1986;116(3):228–237. doi: 10.1111/j.1439-0434.1986.tb00915.x
14. Bashan Y, Okon Y. Inhibition of seed germination and development of tomato plants in soil infested with *Pseudomonas* tomato. *Ann Applied Biology*. 1981;98(3):413–417. doi: 10.1111/j.1744-7348.1981.tb00773.x

Об авторах:

Кавиза Ньяша Джон — аспирант, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: njkavhiza@rocketmail.com
ORCID: 0000-0002-8505-3253

Заргар Мейсам — доктор сельскохозяйственных наук, доцент, 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
Scopus ID: 57203177348

Приходько Светлана Игоревна — заведующая лабораторией бактериологии, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: svetlana.prik@yandex.ru
Пакина Елена Николаевна — доктор биологических наук, профессор, агробиотехнологический департамент, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: e-pakina@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-6493-6121
Scopus ID: 56805238100

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

About authors:

Kavhiza Nyasha John — PhD scholar, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: njkavhiza@rocketmail.com
ORCID: 0000-0002-8505-3253

Zargar Meisam — Doctor of Agricultural Sciences, Associate 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

Scopus ID: 57203177348

Prikhodko Svetlana Igorevna — Head of the Laboratory of Bacteriology, All-Russian Plant Quarantine Center, 32 Pogranichnaya st., Bykovo, Moscow Region, 140150, Russian Federation; e-mail: svetlana.prik@yandex.ru

Pakina Elena Nikolaevna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: e-pakina@yandex.ru

ORCID: 0000–0001–6493–6121

Scopus ID: 56805238100

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

ORCID: 0000–0003–1462–1329

Scopus ID: 57605101300



Общее земледелие Land management


DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-186-196

EDN KYEURF

УДК 631.51

Научная статья / Research article

Оптимизация приемов основной обработки почвы на склоновых ландшафтах Чеченской Республики

М.Р. Нахаев¹ , Т.С. Астарханова²  ¹Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова,
г. Грозный, Российская Федерация²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
 astarkhanova_ts@rudn.ru

Аннотация. Исследования по оптимизации приемов основной обработки почвы проводились в предгорной части Чеченской Республики с целью определения оптимального приема обработки на склоновых ландшафтах при возделывании зерновых и зернобобовых культур. В среднем за 2017–2021 гг. установлено: наименьшее количество сорняков 12,3 шт/м² — на посевах озимой пшеницы на варианте отвальной обработки, наибольшее — 36,1 шт/м² — на посевах ярового ячменя на варианте мелкой дисковой обработки. Наименьшая сухая биомасса 2,79 т/га отмечена у гороха на варианте мелкой дисковой обработки, максимальная — 5,15 т/га — у озимой пшеницы на варианте отвальной обработки почвы с углублением. Наименьшая чистая продуктивность фотосинтеза 1,82 г/м² × сут определена у гороха на варианте мелкой дисковой обработки, максимальная — 3,39 г/м² × сут — у озимой пшеницы на варианте мелкой дисковой обработки. В среднем за 2017–2021 гг. на склоновом ландшафте максимальная хозяйственная урожайность зерна формировалась у озимой пшеницы на варианте с углублением и составляла 4,25 т/га, минимальная — 2,14 т/га — у гороха на варианте с углублением. Таким образом, оптимальные условия для роста и развития зерновых и зернобобовых культур на склоновых ландшафтах Чеченской Республики складываются при проведении отвальных обработок почвы рабочими органами на глубину 0,20...0,22 м с безотвальным углублением до 0,35...0,37 м.

Ключевые слова: отвальная обработка, черноземы, мелкая дисковая обработка, безотвальное углубление

© Нахаев М.Р., Астарханова Т.С., 2023

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

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

История статьи: поступила в редакцию 9 мая 2023 г., принята к публикации 2 июня 2023 г.


Для цитирования: *Нахаев М.Р., Астарханова Т.С.* Оптимизация приемов основной обработки почвы на склоновых ландшафтах Чеченской Республики // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 186—196. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-186-196

Optimization of basic tillage techniques on the slope landscapes in the Chechen Republic

Magomed R. Nakhaev¹ , Tamara S. Astarkhanova²  

¹Kadyrov Chechen State University, Grozny, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 astarkhanova_ts@rudn.ru

Abstract. Studies on the optimization of basic tillage techniques were carried out in the foothill part of the Chechen Republic. The purpose of the research was to determine the optimal reception of basic tillage on the slope landscapes of the Chechen Republic in the cultivation of grain and leguminous crops. The results of the optimization of basic tillage techniques on the sloping landscape of the Chechen Republic have shown that the smallest number of weeds on average in 2017–2021 was recorded on winter wheat crops after moldboard tillage (12.3 plants/m²), the largest number of weeds was registered on spring barley crops after minimum disc tillage (36.1 plants/m²). The smallest dry biomass (2.79 t/ha) was found in peas in the variant with minimum disc tillage. The maximum dry biomass (5.15 t/ha) was recorded for winter wheat in the variant with deep moldboard tillage. The lowest net photosynthetic productivity (1.82 g/m² per day) was found in peas in the variant with minimum tillage. The highest net photosynthetic productivity (3.39 g/m² per day) was noted for winter wheat in the variant with minimum disk tillage. On average for 2017–2021, the maximum economic yield of grain on the sloping landscape was formed in winter wheat after deep tillage and amounted to 4.25 t/ha. The minimum economic yield of grain was formed in peas after deep tillage and was 2.14 t/ha. Thus, optimal conditions for growth and development of grain and leguminous crops on the sloping landscapes of the Chechen Republic are formed after moldboard tillage to a depth of 0.20...0.22 m with a nonmoldboard deepening to 0.35...0.37 m.

Keywords: moldboard tillage, chernozems, minimum disk tillage, nonmoldboard deepening

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

Article history: Received: 9 May 2023. Accepted: 2 June 2023.

For citation: Nakhaev MR, Astarkhanova TS. Optimization of basic tillage techniques on the slope landscapes in the Chechen Republic. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):186—196. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-186-196

Введение

Основная обработка почвы — одно из главных звеньев в технологиях возделывания полевых культур — служит важным элементом в создании оптимальных условий развития растений и рациональном трансфере почвенной влаги и питательных веществ от корневой системы к наземным вегетативным и генеративным органам [1–3].

Исследованиями доказано:

— приемы основной обработки почвы необходимо адаптировать к местным почвенно-климатическим условиям, и они должны соответствовать типу почв, рельефу местности, особенностям выращиваемых культур, системе удобрений, степени засоренности почвенных участков [4, 5];

— на богарных участках засушливых регионов Северного Кавказа основная обработка должна быть, в первую очередь, влагосберегающей [6–8];

— основная обработка почвы должна вестись простым, доступным и дешевым приемом, при этом существенно способствовать улучшению условий произрастания возделываемых растений [9–12].

В связи с большой значимостью обработки почвы для формирования продуктивности агрофитоценозов в целом и для каждой возделываемой культуры в отдельности, а также малочисленностью таких опытов на склоновых ландшафтах Чеченской Республики, возникла необходимость проведения исследований с различными вариантами основной обработки почвы в границах карбонового полигона, что и явилось **целью** нашего **исследования**.

Материалы и методы исследования

Исследования по оптимизации приемов основной обработки почвы на склоновом ландшафте проводились с 2017 по 2021 гг. в предгорной части Чеченской Республики.

Проводились двухфакторные опыты:

Фактор А — культуры севооборота. *Фактор В* — приемы основной обработки почвы.

Фактор А: вариант 1 — озимая пшеница сорт Капитан; вариант 2 — яровая пшеница сорт Курьер; вариант 3 — горох сорт Борец; вариант 4 — ячмень сорт Богатырь.

Фактор В: вариант 1 — отвальная обработка плугом ПН-4–35 на глубину 0,20...0,22 м; вариант 2 — отвальная обработка рабочим органом на глубину 0,20...0,22 м с безотвальным углублением до 0,35...0,37 м; вариант 3 — мелкая дисковая обработка дискатором БДМ-4×4 на глубину 0,12...0,14 м.

Учет засоренности посевов и пара на склоновом ландшафте в нашем опыте проводился количественно-весовым методом перед уборкой зерновых культур, а также в период весенне-летнего ухода за паром перед каждой культивацией или обработкой гербицидами с помощью рамок площадью 0,25 м² (в посевах) и 1 м² (на пару) в десятикратной повторности.

Чистую продуктивность фотосинтеза рассчитывали по формуле Бриггса, Кидда и Веста

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{\frac{1}{2}(L_1 + L_2)},$$

где ЧПФ — чистая продуктивность фотосинтеза, г/м²; $B_2 - B_1$ — прирост сухой биомассы за определенное количество суток, г; $L_1 + L_2$ — средняя площадь листьев за определенное количество суток, м².

Прирост сухой биомассы определяли систематическим (через 10 сут) отбором и взвешиванием растительной массы с площади 0,25 м² по методике Госсортсети.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа с помощью ПЭВМ с использованием программы Статистика 8.

Результаты исследований и их обсуждение

В среднем за 2017–2021 гг. исследований на склоновом ландшафте засоренность озимой пшеницы находилась в пределах от 12,3 шт/м² на отвальном фоне до 17,5 шт/м² на фоне мелкой дисковой обработки, яровой пшеницы — от 19,5 до 24,8, гороха — от 25,5 до 33,3, ярового ячменя — от 28,8 до 36,1 шт/м² соответственно (табл.).

Засоренность агроценозов на склоновом ландшафте, среднее за 2017–2021 гг.

Культуры	Способ обработки почвы	Однодольные		Двудольные		Всего	
		шт/м ²	г/м ²	шт/м ²	г/м ²	шт/м ²	г/м ²
Озимая пшеница, сорт Капитан	Отвал	7,1	16,3	5,2	18,2	12,3	34,5
	С углублением	7,7	17,7	5,6	19,6	13,3	37,3
	Мелкая	10,0	23,0	7,5	26,2	17,5	49,2
Яровая пшеница, сорт Курьер	Отвал	10,8	24,8	8,7	30,4	19,5	55,2
	С углублением	12,1	27,8	10,0	35,0	22,1	62,8
	Мелкая	13,4	30,8	11,4	39,9	24,8	70,7
Горох, сорт Борец	Отвал	13,9	31,9	11,6	38,5	25,5	70,4
	С углублением	14,5	33,3	12,5	43,7	27,0	77,0
	Мелкая	17,4	39,7	15,9	55,6	33,3	95,3
Ячмень, сорт Богатырь	Отвал	15,6	35,8	13,2	46,2	28,8	82,0
	С углублением	16,2	37,2	14,0	49,0	30,2	86,2
	Мелкая	19,4	44,6	16,7	58,4	36,1	103,0

Infestation of agrocenoses on slope landscape (2017–2021)

Crop	Soil cultivation method	Monocots		Dicots		Total	
		plants/m ²	g/m ²	plants/m ²	g/m ²	plants/m ²	g/m ²
Winter wheat, cv. Kapitan	Moldboard	7.1	16.3	5.2	18.2	12.3	34.5
	Deep	7.7	17.7	5.6	19.6	13.3	37.3
	Minimum	10.0	23.0	7.5	26.2	17.5	49.2
Spring wheat, cv. Kuryer	Moldboard	10.8	24.8	8.7	30.4	19.5	55.2
	Deep	12.1	27.8	10.0	35.0	22.1	62.8
	Minimum	13.4	30.8	11.4	39.9	24.8	70.7
Peas, cv. Borets	Moldboard	13.9	31.9	11.6	38.5	25.5	70.4
	Deep	14.5	33.3	12.5	43.7	27.0	77.0
	Minimum	17.4	39.7	15.9	55.6	33.3	95.3
Barley, cv. Bogatyr	Moldboard	15.6	35.8	13.2	46.2	28.8	82.0
	Deep	16.2	37.2	14.0	49.0	30.2	86.2
	Minimum	19.4	44.6	16.7	58.4	36.1	103.0

Соотношение однодольных и двудольным сорняков по количеству на склоновом ландшафте на посевах озимой пшеницы равнялось 1,4:1, яровой пшеницы — 1,2:1, гороха — 1,2:1, ярового ячменя — 1,2:1.

Наименьшая воздушно-сухая масса всех сорных растений на склоновом ландшафте наблюдалась на посевах озимой пшеницы при отвальном способе обработки почвы и в среднем за 2017–2021 гг. равнялась 34,5 г/м². Воздушно-сухая масса всех сорных растений была больше на варианте с почвоуглублением на 2,8 г/м², или на 8,1 %, на варианте с мелкой дисковой обработкой — на 14,7 г/м², или на 42,6 %.

На посевах яровой пшеницы воздушно-сухая масса всех сорных растений на склоновом ландшафте превышала засоренность озимой пшеницы на 43,7...68,4 %. На посевах гороха воздушно-сухая масса всех сорных растений была больше засоренности яровой пшеницы на 22,6...34,8 %. На посевах ярового ячменя воздушно-сухая масса всех сорных растений превышала засоренность гороха на 8,1...16,5 %.

В среднем за 2017–2021 гг. на склоновом ландшафте наименьшая сухая биомасса озимой пшеницы сорта Капитан 4,48 т/га установлена на варианте мелкой дисковой обработки, на варианте отвальной обработки она была на 0,36 т/га больше. Максимальная сухая биомасса 5,15 т/га определена на варианте отвальной обработки почвы с углублением. Наименьшая сухая биомасса яровой пшеницы сорта Курьер 3,87 т/га установлена на варианте мелкой дисковой обработки, на варианте отвальной обработки она была на 0,52 т/га больше. Максимальная сухая биомасса 4,70 т/га — на варианте отвальной обработки почвы с углублением. Наименьшая сухая биомасса гороха сорта Борец 2,79 т/га установлена на варианте мелкой дисковой обработки. На варианте отвальной обработки она была на 0,36 т/га больше. Максимальная сухая биомасса 3,40 т/га — на варианте отвальной обработки почвы с углублением. Наименьшая сухая биомасса ярового ячменя сорта Богатырь

3,68 т/га установлена на варианте мелкой дисковой обработки. Максимальная сухая биомасса 4,31 т/га установлена на варианте отвальной обработки почвы с углублением (рис. 1).

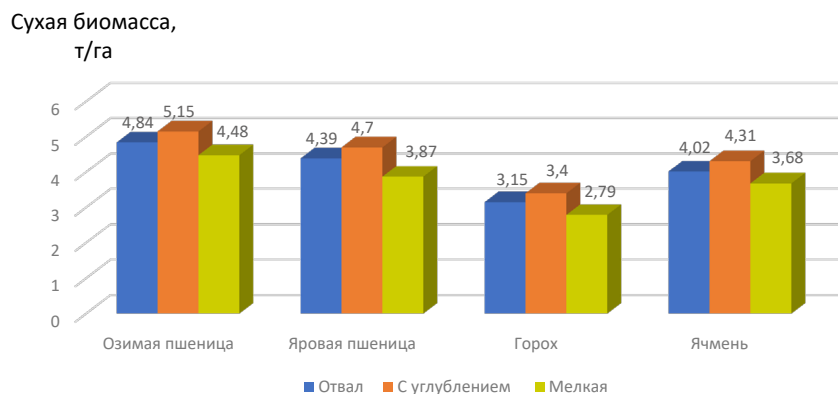


Рис. 1. Сухая биомасса на склоновом ландшафте при разных способах обработки почв, т/га
Источник: сделано авторами

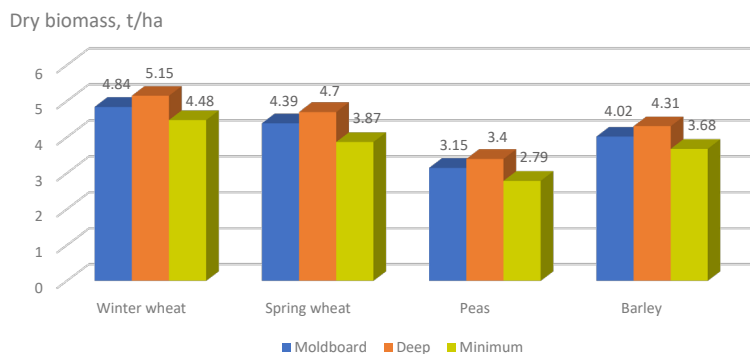


Fig. 1. Dry biomass on the slope landscape under different methods of soil treatment, t/ha
Source: made by the authors

На склоновом ландшафте (рис. 2) в среднем за 2017–2021 гг. наименьшая чистая продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы сорта Капитан установлена на варианте отвальной обработки с углублением — $3,14 \text{ г/м}^2 \times \text{сут}$. На варианте отвальной обработки она была на $0,02 \text{ г/м}^2 \times \text{сут}$ больше. Максимальная чистая продуктивность фотосинтеза озимой пшеницы формировалась на варианте мелкой обработки почвы и равнялась $3,39 \text{ г/м}^2 \times \text{сут}$. Наименьшая чистая продуктивность фотосинтеза яровой пшеницы сорта Курьер установлена на варианте отвальной обработки с углублением — $3,13 \text{ г/м}^2 \times \text{сут}$. На варианте отвальной обработки она была на $0,02 \text{ тыс.}$ больше. Максимальная чистая продуктивность фотосинтеза яровой пшеницы установлена на варианте мелкой дисковой обработки и равнялась $3,17$

г/м² × сут. Наименьшая чистая продуктивность фотосинтеза гороха сорта Боксер установлена на варианте мелкой отвальной обработки — 1,82 г/м² × сут. На варианте отвальной обработки с углублением она была на 0,01 г/м² × сут больше. Максимальная чистая продуктивность фотосинтеза гороха установлена на варианте мелкой дисковой обработки — 1,85 г/м² × сут. Наименьшая чистая продуктивность фотосинтеза ярового ячменя сорта Богатырь установлена на варианте отвальной обработки с углублением — 2,91 г/м² × сут. На варианте отвальной обработки почвы чистая продуктивность фотосинтеза ярового ячменя была на 0,04 г/м² × сут больше. Максимальная чистая продуктивность фотосинтеза ярового ячменя установлена на варианте мелкой дисковой обработки — 3,07 г/м² × сут.

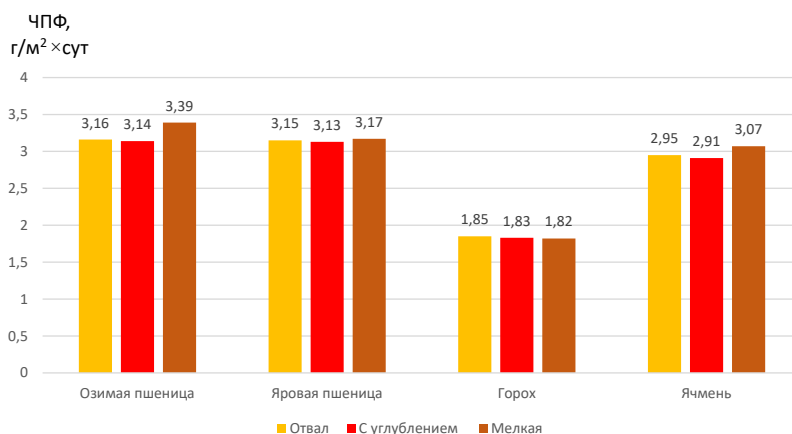


Рис. 2. Чистая продуктивность фотосинтеза на склоновом ландшафте при разных способах обработки почв, г/м² × сут

Источник: сделано авторами

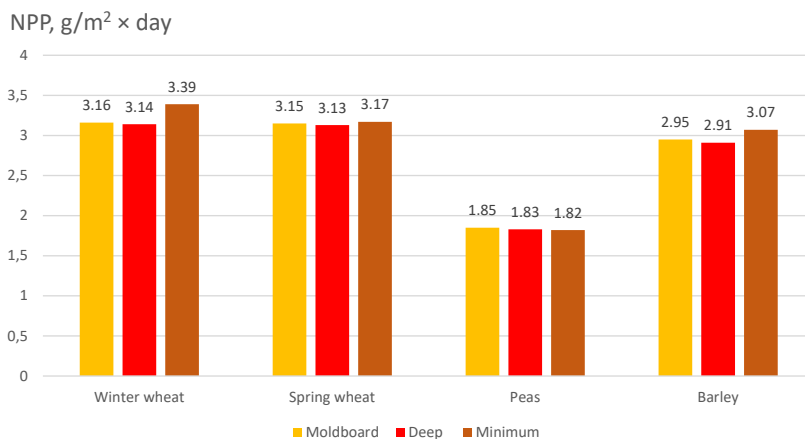


Fig. 2. Net photosynthetic productivity on a slope landscape under different methods of soil cultivation, g/m² × day

Source: made by the authors

На склоновом ландшафте в среднем за 2017–2021 гг. (рис. 3) урожайность зерна озимой пшеницы на контрольном варианте с отвальной обработкой почвы составила 3,92 т/га, на варианте с углублением — на 0,33 т/га, или на 8 %, больше, а на варианте мелкой дисковой обработки — на 0,48 т/га, или 14 %, меньше. Хозяйственная урожайность зерна яровой пшеницы на контрольном варианте с отвальной обработкой почвы составляла 3,37 т/га, на варианте с углублением — на 0,06 т/га, или на 2 %, больше, а на варианте мелкой дисковой обработки — на 0,41 т/га, или на 14 %, меньше. Урожайность зерна гороха на контрольном варианте с отвальной обработкой почвы составляла 2,48 т/га, на варианте с углублением — на 0,36 т/га, или на 15 %, больше, а на варианте мелкой дисковой обработки — на 0,56 т/га, или на 29 %, меньше. Урожайность зерна ярового ячменя на контрольном варианте с отвальной обработкой почвы составляла 3,52 т/га, на варианте с углублением — на 0,22 т/га, или на 6 %, больше, а на варианте мелкой дисковой обработки — на 0,41 т/га, или на 13 %, меньше.

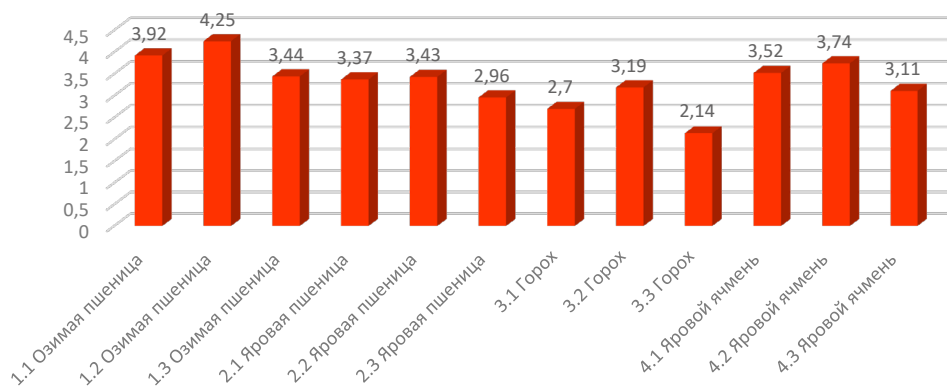


Рис. 3. Урожайность зерновых культур на склоновом ландшафте, среднее за 2017–2021 гг., т/га, при разных способах обработки почв: 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 – при отвале; 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 – с углублением; 1.3, 2.3, 3.3, 4.3 – при мелкой дисковой
 Источник: сделано авторами

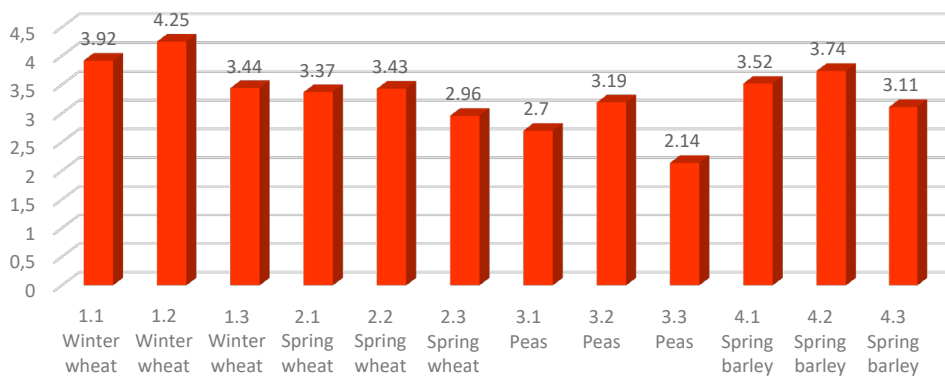


Fig. 2. Productivity of grain crops on the sloping landscape in 2017–2021, t/ha, under different methods of tillage: 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 – moldboard tillage; 1.2, 2.2, 3.2, 4.2 – deep tillage; 1.3, 2.3, 3.3, 4.3 – minimum disc tillage
 Source: made by the authors

Заключение

Исследования различных приемов основной обработки почвы при возделывании пшеницы озимой, пшеницы яровой, ячменя ярового и гороха в пятипольном зернопаровом севообороте на склоновом ландшафте карбонового полигона в Чеченской Республике показали, что количество сорных растений в посевах озимой пшеницы было минимальным (10,4 шт./м²) в двухпольном севообороте, максимальным (55,6 шт./м²) в бессменных посевах. Количество сорных растений в посевах ярового ячменя увеличивалось до 25,1 шт./м² в трехпольном севообороте и 63,2 шт./м² в бессменных посевах. Количество сорных растений в посевах яровой пшеницы равнялось 19,1 шт./м² в четырехпольном севообороте и 19,5 шт./м² в пятипольном севообороте. Количество сорных растений в посевах гороха равнялось 27,0 шт./м².

В среднем за 2017–2021 гг. на склоновом ландшафте наименьший фотосинтетический потенциал озимой пшеницы ($1,532 \times 10^6$ м² сут/га), яровой пшеницы ($1,274 \times 10^6$ м² сут/га), гороха ($1,683 \times 10^6$ м² сут/га) и ярового ячменя ($1,301 \times 10^6$ м² сут/га) установлен на варианте мелкой дисковой обработки, максимальный фотосинтетический потенциал — $2,033 \times 10^6$, $1,56 \times 10^6$, $2,052 \times 10^6$ и $1,599 \times 10^6$ м² сут/га соответственно — формировался на варианте отвальной обработки почвы с углублением.

Наибольшая урожайность озимой пшеницы 4,25 т/га формировалась на варианте с углублением, на варианте мелкой дисковой обработки она была на 0,81 т/га меньше. Урожайность яровой пшеницы на варианте отвальной обработки с углублением составляла 3,43 т/га, на варианте мелкой дисковой обработки — на 16 % меньше. Урожайность гороха на варианте с отвальной обработкой почвы составляла 2,70 т/га, на варианте с углублением — на 18 % больше, а на варианте мелкой дисковой обработки — на 26 % меньше. Урожайность ярового ячменя на варианте с отвальной обработкой почвы составляла 3,52 т/га, на варианте с углублением урожайность была на 6 % больше, а на варианте мелкой дисковой обработки — на 13 % меньше.

Библиографический список

1. Абдуллаев Ж.Н., Магомедов Н.Р., Гасанов Г.Н., Аджиев А.М., Бексултанов А.А. Эффективность приемов обработки почвы под пожнивную горохо-кукурузную смесь // Проблемы развития АПК региона. 2011. № 8. С. 2–6.
2. Алемсетова Г.К. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность сорта гороха посевного Фокор в поливных условиях равнинного Дагестана // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 4 (48). С. 11–15.
3. Ахмедова С.О., Курбанов С.А., Магомедов Н.Р., Магомедова Д.С. Роль приемов основной обработки почвы при возделывании сортов озимой пшеницы // Проблемы развития АПК региона. 2020. № 3 (43). С. 13–17.
4. Батовская Е.К., Зволинский В.П. Современные проблемы экологического мониторинга аридных ландшафтов Северного Прикаспия // Эколого-мелиоративные аспекты научно-производственного обеспечения АПК. М.: Современные тетради, 2005. С. 51–54.
5. Власова О.И. Плодородие черноземных почв и приемы его воспроизводства в условиях Центрального Предкавказья: монография. Ставрополь: АГРУС, 2014. 308 с.
6. Кузыченко Ю.А., Квасов Н.А., Хрипунов А.И. Внедрение минимальной обработки почвы на Ставрополье // Земледелие. 2010. № 1. С. 21–23.

7. Кузыченко Ю.А., Федотов А.А. Выбор способов основной обработки для различных типов почв с целью повышения рентабельности производства растениеводческой продукции. Ставрополь: АГРУС, 2010. 28 с.
8. Курбанов С.А. Земледелие. М.: Юрайт, 2020. 275 с.
9. Магарамов Б.Г. Влияние различных способов обработки почвы на качественные показатели зерна овса // Проблемы развития АПК региона. 2020. № 1 (41). С. 93–96.
10. Борисенко И.Б., Иванцова Е.А., Плескачëв Ю.Н., Сидоров А.Н. Новые технологии обработки почвы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 1 (25). С. 14–16.
11. Найденов А.С. Энергосберегающая обработка почвы // Российская аграрная газета. 2011. № 16. С. 12–13.
12. Передериева В.М., Ткаченко Д.А. Влияние предшественников и способов обработки почвы на биологические показатели плодородия // Агрохимический вестник. 2005. № 4. С. 14–15.

References

1. Abdullaev ZN, Magomedov NR, Hasanov GN, Adzhiev AM, Beksultanov AA. The effectiveness of tillage techniques for a crop pea–corn mixture. *Development problems of regional agro-industrial complex*. 2011;8(4):2–6. (In Russ.).
2. Alemsetova GK. The effect of growth regulators on the photosynthetic activity of the Fokor pea cultivar under irrigation conditions in lowland Dagestan. *Development problems of regional agro-industrial complex*. 2021;(4):11–15. (In Russ.). doi: 10.52671/20790996_2021_4_11
3. Akhmedova SO, Kurbanov SA, Magomedov NR, Magomedova DS. The role of basic tillage methods in cultivation of winter wheat varieties. *Development problems of regional agro-industrial complex*. 2020;(3):13–17. (In Russ.) doi: 10.15217/issn2079–0996.2020.3.13
4. Batovskaya EK, Zvolinsky VP. Modern problems of ecological monitoring of arid landscapes of the Northern Caspian. In: *Ecological and meliorative aspects of scientific and industrial support of the agro-industrial complex*. Moscow; 2005. p.51–54. (In Russ.).
5. Vlasova OI. *Plodorodie chernozemnykh pochv i priemy ego vosпроизводства v usloviyakh Tsentral'nogo Predkavkaz'ya* [Fertility of chernozem soils and methods of its reproduction in the conditions of the Central Caucasus]. Stavropol: AGRUS publ.; 2014. (In Russ.).
6. Kuzychenko YA, Kvasov NA, Khripunov AI. Introduction of minimal soil treatment system in Stavropol region. *Zemledelie*. 2010;(1):21–23. (In Russ.).
7. Kuzychenko YA, Fedotov AA. *Vybor sposobov osnovnoi obrabotki dlya razlichnykh tipov pochv s tsel'yu povysheniya rentabel'nosti proizvodstva rastenievodcheskoi produktsii* [The choice of methods of basic processing for various types of soils to increase profitability of crop production]. Stavropol: AGRUS publ.; 2010. (In Russ.).
8. Kurbanov SA. *Zemledelie* [Agriculture]. Moscow: Yurait publ.; 2020. (In Russ.).
9. Magaramov BG. The influence of various methods of tillage on soil treatment on qualitative indicators of oat grain. *Development problems of regional agro-industrial complex*. 2020;(1):93–96. (In Russ.). doi: 10.15217/issn2079–0996.2020.1.93
10. Borisenko IB, Ivantsova EA, Pleskachev YN, Sidorov AN. New technologies of tillage. *Proceedings of lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2012;(1):14–16. (In Russ.).
11. Naidenov AS. Energy-saving tillage. *Rossiiskaya agrarnaya gazeta*. 2011;(16):12–13. (In Russ.).
12. Perederieva VM, Tkachenko DA. Influence of forecrops and methods of tillage on biological indicators of fertility. *Agrochemical herald*. 2005;(4):14–15. (In Russ.).

Об авторах:

Нахаев Магомед Рамзанович — кандидат технических наук, доцент кафедры агротехнологии агротехнологического института, Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Российская Федерация, 364021, Чеченская Республика, г. Грозный, ул. Шерипова, д. 32; e-mail: mr-nakhaev@mail.ru ORCID: 0000–0002–2589–6662

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

About the authors:

Nakhaev Magomed Ramzanovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Agrotechnology, Agrotechnological Institute, Kadyrov Chechen State University, 32 Sheripova st., Grozny, Chechen Republic, 364021, Russian Federation; e-mail: mr-nakhaev@mail.ru
ORCID: 0000–0002–2589–6662

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



Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry


DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-197-212

EDN KRIQXB

УДК 631.472.71:528.8.041.3

Научная статья / Research article

Информативность данных инфракрасного диапазона съемки для детектирования свойств пахотных почв

П.Г. Грубина¹  , И.Ю. Савин^{1,2} ¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация grubina_pg@esoil.ru

Аннотация. Приведены результаты анализа возможности детектирования параметров почвенного плодородия на основе использования данных тепловой съемки на примере тестового участка в Ясногорском районе Тульской области. На тестовом участке представлены серые лесные слабоэродированные пахотные почвы, расположенные в плоской части склона. Во время полевых работ проводилась съемка открытой поверхности почв с использованием тепловизора FLIR VUE 512 (диапазон 7,5–13,5 мкм), также из слоя 0–5 см производился отбор почвенных образцов и измерение влажности почвы в слое 15–20 см. Практически для всех параметров почвенного плодородия (рН, содержание гумуса, содержание калия, обменные катионы — Mg⁺⁺, K⁺, Na⁺) была установлена статистически значимая корреляция ($r = 0,4–0,7$), между ними и данными съемки в тепловом диапазоне спектра. Для умеренных корреляций были составлены уравнения полиномиальной регрессии. Из исследуемых параметров плодородия значимый коэффициент детерминации ($R^2 > 0,60$) с тепловым диапазоном спектра имели рН сол. ($R^2 = 0,61$), содержание оксида калия ($R^2 = 0,60$) и обменных катионов калия ($R^2 = 0,63$). Полученные результаты показали, что использование съемки в тепловом диапазоне может применяться для картографирования некоторых параметров почвенного плодородия региона исследования. Для тестового поля оказалось невозможным на основе данных тепловой съемки надежно отдетектировать все основные параметры плодородия почв поля. Однако данные тепловой почвенной съемки можно использовать как вспомогательные при съемке в видимом и ближнем ИК диапазонах, что поможет повысить точность бесконтактного почвенного мониторинга.

Ключевые слова: тепловая съемка, почвенные свойства, параметры плодородия почв, Тульская область

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

© Грубина П.Г., Савин И.Ю., 2023



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

Финансирование. Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РФ в лице Минобрнауки (соглашение № 075-15-2022-321).

История статьи: поступила в редакцию 12 мая 2022 г., принята к публикации 28 февраля 2023 г.


Для цитирования: Грубина П.Г., Савин И.Ю. Информативность данных инфракрасного диапазона съемки для детектирования свойств пахотных почв // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 197—212. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-197-212

Informative value of infrared survey data for detecting properties of arable soils

Praskovya G. Grubina¹  , Igor Y. Savin^{1,2} 

¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

²RUDN University, Moscow, Russian Federation

 grubina_pg@esoil.ru

Abstract. Possibility of detecting soil fertility parameters based on the use of thermal survey data was studied on the test area of Yasnogorsky District, Tula region, Russia. The test area has gray forest slightly eroded arable soils located in the flat part of the slope. During the field works, an open soil surface was photographed using a FLIR VUE 512 thermal imager (range 7.5–13.5 μm), soil samples were also taken from a layer of 0–5 cm and soil moisture was measured in a layer of 15–20 cm. For almost all parameters of soil fertility (pH, humus content, potassium content, exchange cations — Mg^{++} , K^+ , Na^+), a statistically significant correlation was established ($r = 0.4\text{--}0.7$) between them and the survey data in the thermal range of the spectrum. For moderate correlations, polynomial regression equations were compiled. Among the studied fertility parameters, the pH of the salt extract, the content of potassium oxide and potassium exchange cations had significant coefficient of determination ($R^2 > 0.60$) with the thermal range of the spectrum — $R^2 = 0.61$, $R^2 = 0.60$ and $R^2 = 0.63$, respectively. The obtained results have shown that thermal imaging can be used to map some parameters of soil fertility for the region. Nevertheless, it turned out to be impossible to reliably detect all the main parameters of soil fertility of the test field on the basis of thermal survey data. However, the thermal soil survey data can be used as auxiliary data when shooting in the visible and near-IR ranges, which helps to improve the accuracy of contactless soil monitoring.

Key words: thermal infrared imaging, soil properties, soil fertility parameters, Tula region

Funding. The research was carried out with the financial support of the project of the Russian Federation represented by the Ministry of Education and Science (no. 075-15-2022-321).

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

Article history: Received: 12 May 2022. Accepted: 28 February 2023.

For citation: Grubina PG, Savin IY. Informative value of infrared survey data for detecting properties of arable soils. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):197—212. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-197-212

Введение

Широкое внедрение спутниковых технологий открыло возможности для разработки новых методов картографирования свойств почв, основанных на их использовании. Показано, что с помощью методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) можно достаточно надежно картографировать отдельные свойства почв [1].

Наиболее широко используются данные видимого и ближнего ИК-диапазонов. По ним на тестовых полях определяют такие свойства как содержание органического вещества почв [2], гипса и карбонатов [3], калия и магния [4], азота, калия и фосфора [5, 6], песка и глины [7] и влажность почв [8]. Но обычно достичь высокой точности детектирования на основе этих данных не удается, поэтому ведется анализ возможностей использования данных и других спектральных диапазонов. Одним из перспективных является тепловой диапазон.

В [9] показана возможность использования теплового канала (10,6...11,19 мкм) спутника Landsat-8 и совокупности мультиспектральных данных для картирования влажности почвы в провинции Цзянсу, Китай. Коэффициент детерминации модели был равен 0,62.

В [10] показана возможность определения влажности верхнего горизонта почвы в лабораторных условиях с помощью радиометра CIMEL Electronique CE-312 (измерения проведены в тепловом диапазоне 8...13 мкм), были использованы образцы почв из США и Бразилии. Коэффициент детерминации модели был равен 0,90.

Санчез с коллегами [11] в центральной Аризоне (США) изучали влияние влажности почвы на коэффициент теплового излучения почв. Исследование проходило в полевых условиях также с помощью радиометра CIMEL Electronique CE312–2 (в диапазоне 8–13 мкм) и показало, что наличие трещин на поверхности почвы увеличивает коэффициент теплового излучения при одинаковом содержании почвенной влаги.

В полевом опыте в Ставропольском крае с помощью БПЛА проводилась тепловизионная съемка тестового участка. Полученные значения температуры варьировались от 19,5 до 5,2 °С. Эти исследования помогают анализировать поля, подверженные загрязнению и другим опасным факторам, а также дополняют полевые выезды [12].

В 2012 г. было проведено исследование в округе Хэйнэ (Китай), в ходе которого выявили взаимосвязи между данными теплового диапазона спектра (8...11 мкм) и температурой почв. Тепловые данные были получены в результате аэросъемки тестового участка с помощью инфракрасного бортового сканера (WiDAS). Коэффициент детерминации модели был равен 0,88 [13].

В [14] показано определение поверхностной температуры почвы на лесной территории на границе Вирджинии и северной Каролины (США) при помощи объединения данных тепловых каналов (10,5...12,5 мкм) спутников Landsat-8 и MODIS (MOD11). Коэффициент детерминации модели был равен 0,76.

Также была продемонстрирована возможность детектирования глинистых минералов и оксида железа тропических почв в штате Сан-Паулу (Бразилия) в тепловом канале спутника ASTER (8000–14000 нм) [15].

В районе города Маллева (Западная Австралия) на полузасушливых почвах исследование показало взаимосвязи между содержанием песка и глины в тепловом диапазоне спектра (8...14 мкм), полученном с помощью бортового Фурье-спектрометра TASI-600. Коэффициент детерминации модели был равен 0,93 [16].

В 2019 г. группой ученых [17] проведено создание глобальной карты засоления почв на основе тепловых каналов спутников Landsat-5 and Landsat-8 (10,4–12,5 мкм). Точность составленной карты достигала 67...70 %.

В [18] провели лабораторный эксперимент, в ходе которого установили взаимосвязи между тепловым диапазоном спектра и тремя типами засоления почв. Тепловой диапазон почв (8...14 мкм) измеряли с помощью ИК-Фурье спектрометра, а образцы почвы отбирали на юге пустыни Курбантонгут (Китай) и добавляли растворы солей (NaCl , Na_2SO_4 , Na_2CO_3) в лаборатории. Коэффициенты детерминации моделей: $\text{NaCl} = 0,67$; $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,71$; $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 0,69$.

В провинции Гириин на северо-востоке Китая было проведено детектирование рН почвы на основе данных теплового канала спутника Landsat-8 (10,5...12,5 мкм), карты высот (ELV) и среднегодовое количество осадков (MAP). Коэффициент детерминации модели был равен 0,73 [19].

Все эти исследования показали перспективность данных тепловой съемки. Тем не менее их все еще недостаточно для создания технологии детектирования свойств почв на основе данных тепловой съемки.

Цель исследования — анализ связей отдельных свойств почв с изображением их поверхности на данных дистанционной съемки в тепловом диапазоне спектра на примере тестового участка на пашне Ясногорского района Тульской области.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования — почвенный покров тестового поля Почвенного института им. В.В. Докучаева, расположенного в Ясногорском районе Тульской области. Площадь поля составляет около 13,5 га (рис. 1).

Тестовое поле расположено в плоской части склона, который имеет уклон 2–3 градуса и западную экспозицию. Почвообразующие породы — пылеватые суглинки. Их подстиляет коричневато-бурый опесчаненный валунный суглинок [20].

На участке представлены серые лесные слабоэродированные пахотные почвы. В пахотном горизонте почв содержится в среднем около 3 % гумуса, с варьированием от 1,86 до 7,3 %. Реакция почвенной среды нейтральная, $\text{pH}_{\text{вод}} = 6,14$ и $\text{pH}_{\text{сол.}} = 5,3$. Среднее содержание общего азота 0,18 %, фосфора и калия — 118, 3 и 227 мг/кг почвы соответственно. Обменные катионы (по Шелленбергу), мг-экв/100 г почвы: $\text{K}^+ = 0,44$; $\text{Na}^+ = 0,07$; $\text{Ca}^{2+} = 19,5$; $\text{Mg}^{2+} = 2,7$.

Полевые исследования проходили в середине августа 2019 г., в течение года поле находилось под паром. Всего было заложено 30 точек опробования (см. рис. 1).

Образцы отбирались из 0–5 см слоя пахотного горизонта почв. На каждой точке отбирался смешанный образец в радиусе около 3 м.



Рис. 1. Тестовое поле. Расположение точек полевого опробования показано красными точками
Источник: сделано авторами

Fig. 1. Test field. The location of field testing points is shown by red points
Source: made by the authors

Анализы выполнялись в испытательном лабораторном центре (ИЛЦ) Почвенного института им. В.В. Докучаева и включали такие параметры почвенного плодородия, как содержание гумуса, водный и солевой pH почвы, подвижный фосфор (по Кирсанову), обменный калий (по Масловой), общий азот (стандартизированная методика [21]), обменные основания по Шолленбергеру (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+).

Во время полевого выезда проходило измерение влажности с помощью влагомера почвы TR-46908, в пахотном слое 15–20 см. Измерения проводили в 5 повторностях на каждой точке [22].

Отбор образцов проводился сопряженно со съемкой открытой поверхности почвы с высоты 135–150 см в трехкратной повторности с помощью тепловизора FLIR VUE 512, который фиксирует отражение электромагнитных волн от поверхности в диапазоне $7,5 \sim 13,5 \text{ мкм}^1$ (рис. 2).

Изображения тепловизора загружались в пакет прикладных программ ILWIS², в котором проводился анализ полученных с помощью тепловизора изображений. Для каждого изображения определяли следующие показатели: среднее арифметическое значение, минимальная и максимальная величины, медианное и преобладающее значения, а также стандартное отклонение тона изображения открытой поверхности почв на изображениях, полученных с помощью тепловизора.

¹ Официальный сайт Teledyne FLIR. Режим доступа: <https://www.flir.com/products/vue-pro> Дата обращения: 03.05.202

² Официальный сайт University of Twente. Режим доступа: <https://www.itc.nl/ilwis/download/ilwis33> Дата обращения: 03.05.2023

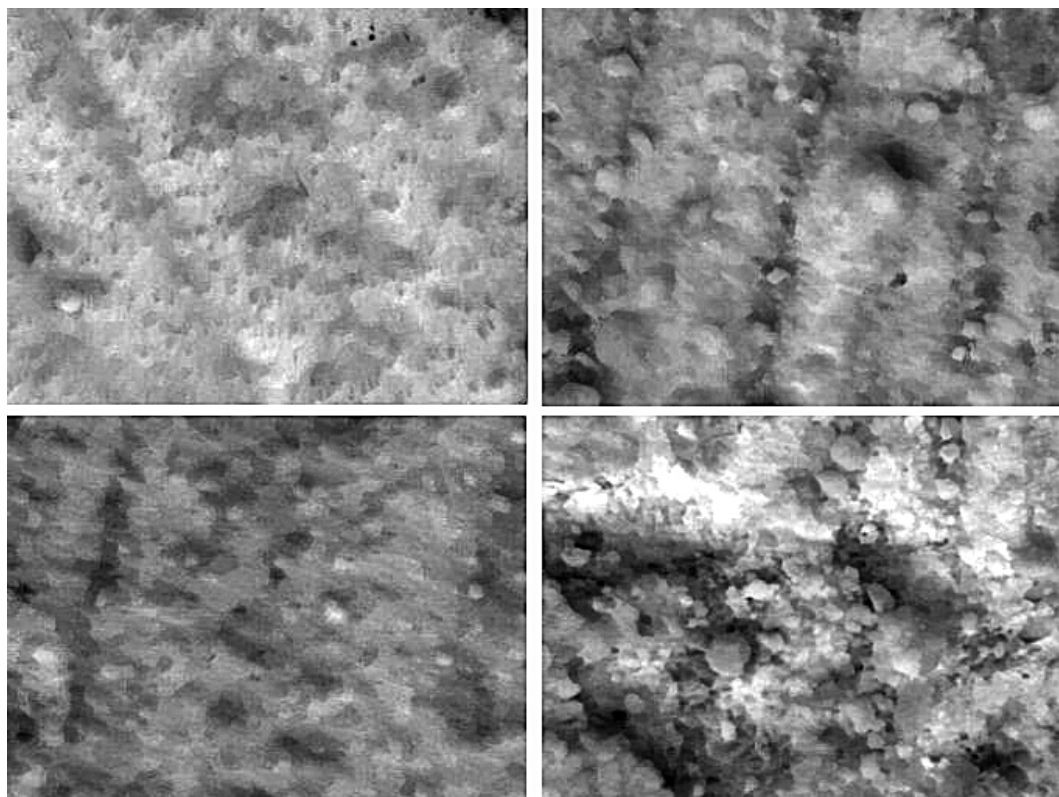


Рис. 2. Примеры тепловых изображений открытой поверхности почв тестового поля
Источник: сделано авторами

Fig. 2. Examples of thermal images of open soil surfaces in test field
Source: made by the authors

В программе EXCEL³ осуществляли статистическую обработку данных (корреляционный анализ, определение коэффициента детерминации R^2 , построение уравнений регрессии).

Для корреляционного анализа вычисляли коэффициент Пирсона r . Проверку статистически значимых коэффициентов корреляции проводили при уровне значимости $p < 0,01$ ($t_{\text{табл}} = 2,76$).

Также выполняли регрессионный анализ для статистически значимых коэффициентов корреляции. Установление достоверности моделей вели по пороговому значению скорректированного $R^2 > 0,60$. Этот порог достоверности неоднократно применялся для выделения взаимосвязей между тепловым диапазоном спектра и почвенными свойствами [9, 23, 24].

Результаты исследования и обсуждение

Исходные данные показаны в табл. 1. Результаты корреляционного анализа приведены в табл. 2.

³ Официальный сайт Microsoft. Режим доступа: <https://www.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/excel/> Дата обращения: 03.05.2023

Таблица 1

Исходные фактические данные

Номер точки	min	max	mean	med	std	Pred	pH	humus	pH	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Влажность, %
1	42	175	123	125	20	126	5.90	2.90	5.13	182.65	0.18	324.69	12.73	2.94	0.07	0.71	68.23
2	39	185	125	128	21	137	5.70	2.33	4.86	112.64	0.14	218.67	11.79	2.88	0.08	0.47	46.78
3	42	174	120	122	19	125	5.78	2.43	4.92	100.47	0.15	185.53	14.96	2.84	0.09	0.38	40.76
4	44	170	125	126	18	137	5.97	2.38	4.88	115.69	0.13	182.19	14.41	3.14	0.10	0.37	40.04
5	31	194	130	131	22	137	6.19	1.96	5.07	164.39	0.09	249.81	15.25	3.29	0.09	0.49	53.79
6	24	217	125	128	26	137	5.90	2.53	5.02	85.25	0.19	141.57	14.36	2.46	0.11	0.28	31.76
7	15	232	130	134	33	143	5.81	2.53	4.94	100.47	0.16	212.48	14.60	3.10	0.07	0.40	46.13
8	23	227	138	142	28	149	5.81	2.27	4.91	112.64	0.13	176.36	15.18	3.18	0.08	0.34	39.03
9	36	184	124	125	18	131	6.07	2.43	5.19	127.86	0.09	197.15	16.12	2.89	0.07	0.38	43.32
10	41	177	123	125	18	125	5.82	1.91	4.88	103.51	0.13	163.87	15.11	2.86	0.07	0.30	36.44
11	43	174	123	126	20	131	5.83	2.02	4.86	100.47	0.13	183.09	14.69	3.11	0.10	0.35	40.27
12	40	186	122	124	19	125	5.84	2.17	4.86	112.64	0.10	169.95	17.52	3.07	0.08	0.32	38.19
13	39	188	123	123	18	126	6.11	1.82	5.02	118.73	0.16	184.51	15.37	2.99	0.08	0.35	40.66
14	43	174	119	121	20	126	6.12	2.17	5.01	109.60	0.06	182.90	12.87	2.68	0.05	0.35	39.77
15	47	160	114	114	14	119	5.69	2.59	4.90	100.47	0.15	159.18	13.49	2.95	0.07	0.30	35.20
16	43	184	122	123	16	131	5.71	2.22	4.86	121.77	0.14	216.35	14.56	3.17	0.06	0.37	46.90
17	38	177	131	133	19	137	5.65	2.43	4.87	106.55	0.12	176.94	9.66	2.19	0.08	0.34	37.84
18	40	185	117	119	19	125	5.63	2.74	4.93	103.51	0.15	183.34	14.01	2.63	0.06	0.34	40.08
19	33	191	117	118	24	129	5.92	2.84	5.21	149.17	0.08	200.90	14.96	2.24	0.05	0.34	43.70
20	25	202	124	124	24	126	6.18	1.54	5.28	243.52	0.49	227.00	20.02	2.97	0.08	0.44	50.10
21	39	167	110	111	16	113	7.13	5.32	6.48	1746.63	0.25	293.33	30.55	1.89	0.05	0.57	65.28
22	35	186	131	137	26	143	6.57	5.77	6.01	1564.11	0.31	287.08	47.27	2.17	0.07	0.56	67.43
23	56	145	111	111	10	113	5.92	3.78	5.22	231.15	0.18	283.24	15.06	2.48	0.05	0.52	60.27
24	42	164	122	123	15	125	6.05	3.53	5.25	109.47	0.35	208.88	17.52	2.73	0.06	0.39	45.92
25	56	151	118	121	15	131	6.02	3.46	5.19	100.34	0.17	208.60	18.36	2.86	0.06	0.35	46.05

Окончание Табл. 1

Номер точки	min	max	mean	med	std	Pred	pH	humus	pH	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Влажность, %
26	56	166	133	135	13	135	6.06	3.97	5.15	164.22	0.15	271.50	17.24	2.82	0.06	0.52	58.43
27	57	132	101	102	8	102	6.49	4.10	5.71	559.06	0.19	395.04	24.48	2.45	0.04	0.75	84.55
28	49	158	122	123	12	126	7.43	7.31	6.88	3541.36	0.33	281.90	47.64	1.95	0.05	0.57	66.42
29	58	139	106	106	11	107	7.44	5.19	6.74	2750.46	0.23	310.94	35.31	2.05	0.04	0.59	69.79
30	57	133	107	108	9	113	7.55	6.35	6.89	2841.72	0.34	332.59	41.49	2.16	0.05	0.68	75.39

Свойство почв

pHвод — pH водный

Humus — содержание гумуса, %

pHsol — pH солевой

P₂O₅ — фосфор подвижный, мг/кгK₂O — калий обменный, мг/кг

N — азот общий, %

Ca²⁺ — обменный катион кальция, мг-экв/100гMg²⁺ — обменный катион магния, мг-экв/100 гNa⁺ — обменный катион натрия, мг-экв/100 гK⁺ — обменный катион калия, мг-экв/100 г

Значения тона изображения тепловизора

min — минимальное значение

max — максимальное значение

mean — среднее значение

med — модальное значение

std — стандартное отклонение

pred — преобладающее значение

Table 1

Initial data

Point number	min	max	mean	med	std	Pred	pH	humus	pH	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Moisture content %
1	42	175	123	125	20	126	5.90	2.90	5.13	182.65	0.18	324.69	12.73	2.94	0.07	0.71	68.23
2	39	185	125	128	21	137	5.70	2.33	4.86	112.64	0.14	218.67	11.79	2.88	0.08	0.47	46.78
3	42	174	120	122	19	125	5.78	2.43	4.92	100.47	0.15	185.53	14.96	2.84	0.09	0.38	40.76
4	44	170	125	126	18	137	5.97	2.38	4.88	115.69	0.13	182.19	14.41	3.14	0.10	0.37	40.04
5	31	194	130	131	22	137	6.19	1.96	5.07	164.39	0.09	249.81	15.25	3.29	0.09	0.49	53.79
6	24	217	125	128	26	137	5.90	2.53	5.02	85.25	0.19	141.57	14.36	2.46	0.11	0.28	31.76
7	15	232	130	134	33	143	5.81	2.53	4.94	100.47	0.16	212.48	14.60	3.10	0.07	0.40	46.13
8	23	227	138	142	28	149	5.81	2.27	4.91	112.64	0.13	176.36	15.18	3.18	0.08	0.34	39.03
9	36	184	124	125	18	131	6.07	2.43	5.19	127.86	0.09	197.15	16.12	2.89	0.07	0.38	43.32
10	41	177	123	125	18	125	5.82	1.91	4.88	103.51	0.13	163.87	15.11	2.86	0.07	0.30	36.44
11	43	174	123	126	20	131	5.83	2.02	4.86	100.47	0.13	183.09	14.69	3.11	0.10	0.35	40.27

Ending table 1

Point number	min	max	mean	med	std	Pred	pH	humus	pH	P ₂ O ₅	N	K ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Moisture content %
12	40	186	122	124	19	125	5.84	2.17	4.86	112.64	0.10	169.95	17.52	3.07	0.08	0.32	38.19
13	39	188	123	123	18	126	6.11	1.82	5.02	118.73	0.16	184.51	15.37	2.99	0.08	0.35	40.66
14	43	174	119	121	20	126	6.12	2.17	5.01	109.60	0.06	182.90	12.87	2.68	0.05	0.35	39.77
15	47	160	114	114	14	119	5.69	2.59	4.90	100.47	0.15	159.18	13.49	2.95	0.07	0.30	35.20
16	43	184	122	123	16	131	5.71	2.22	4.86	121.77	0.14	216.35	14.56	3.17	0.06	0.37	46.90
17	38	177	131	133	19	137	5.65	2.43	4.87	106.55	0.12	176.94	9.66	2.19	0.08	0.34	37.84
18	40	185	117	119	19	125	5.63	2.74	4.93	103.51	0.15	183.34	14.01	2.63	0.06	0.34	40.08
19	33	191	117	118	24	129	5.92	2.84	5.21	149.17	0.08	200.90	14.96	2.24	0.05	0.34	43.70
20	25	202	124	124	24	126	6.18	1.54	5.28	243.52	0.49	227.00	20.02	2.97	0.08	0.44	50.10
21	39	167	110	111	16	113	7.13	5.32	6.48	1746.63	0.25	293.33	30.55	1.89	0.05	0.57	65.28
22	35	186	131	137	26	143	6.57	5.77	6.01	1564.11	0.31	287.08	47.27	2.17	0.07	0.56	67.43
23	56	145	111	111	10	113	5.92	3.78	5.22	231.15	0.18	283.24	15.06	2.48	0.05	0.52	60.27
24	42	164	122	123	15	125	6.05	3.53	5.25	109.47	0.35	208.88	17.52	2.73	0.06	0.39	45.92
25	56	151	118	121	15	131	6.02	3.46	5.19	100.34	0.17	208.60	18.36	2.86	0.06	0.35	46.05
26	56	166	133	135	13	135	6.06	3.97	5.15	164.22	0.15	271.50	17.24	2.82	0.06	0.52	58.43
27	57	132	101	102	8	102	6.49	4.10	5.71	559.06	0.19	395.04	24.48	2.45	0.04	0.75	84.55
28	49	158	122	123	12	126	7.43	7.31	6.88	3541.36	0.33	281.90	47.64	1.95	0.05	0.57	66.42
29	58	139	106	106	11	107	7.44	5.19	6.74	2750.46	0.23	310.94	35.31	2.05	0.04	0.59	69.79
30	57	133	107	108	9	113	7.55	6.35	6.89	2841.72	0.34	332.59	41.49	2.16	0.05	0.68	75.39

Soil properties

pH_{vod} – pH water extract

Humus – humus content, %

pH_{sol} – pH salt extractP₂O₅ – mobile phosphorus, mg/kgK₂O – exchangeable potassium, mg/kg

N – total nitrogen, %

Thermal imaging tone values

min – minimum value

max – maximum value

mean – mean value

med – median value

std – standard deviation

pred – predicted value

Таблица 2

Результаты корреляционного анализа

Параметры	min	max	mean	med	st d	pred	pH vod	humus	N	pH sol	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	K	Влаж
min	1,00																
max	-0,95	1,00															
mean	-0,63	0,75	1,00														
med	-0,63	0,75	0,99	1,00													
st d	-0,94	0,94	0,70	0,73	1,00												
(pred)	-0,66	0,77	0,94	0,96	0,78	1,00											
pHvod	0,39	-0,51	-0,47	-0,46	-0,45	-0,49	1,00										
humus	0,49	-0,56	-0,39	-0,36	-0,48	-0,38	0,85	1,00									
N	0,05	-0,19	-0,18	-0,18	-0,14	-0,25	0,55	0,51	1,00								
pHsol	0,40	-0,52	-0,49	-0,48	-0,45	-0,50	0,98	0,92	0,59	1,00							
P ₂ O ₅	0,37	-0,46	-0,39	-0,37	-0,40	-0,40	0,94	0,90	0,53	0,96	1,00						
K ₂ O	0,51	-0,60	-0,52	-0,51	-0,55	-0,55	0,73	0,73	0,44	0,75	0,64	1,00					
Ca	0,30	-0,40	-0,29	-0,25	-0,30	-0,29	0,88	0,90	0,62	0,92	0,92	0,68	1,00				
Mg	-0,33	0,45	0,47	0,44	0,35	0,45	-0,68	-0,78	-0,38	-0,77	-0,72	-0,53	-0,66	1,00			
Na	-0,53	0,57	0,62	0,61	0,56	0,62	-0,53	-0,61	-0,21	-0,59	-0,49	-0,65	-0,44	0,59	1,00		
K	0,47	-0,57	-0,48	-0,46	-0,52	-0,51	0,76	0,74	0,46	0,77	0,68	0,98	0,70	-0,53	-0,56	1,00	
Влаж	0,50	-0,59	-0,51	-0,49	-0,53	-0,54	0,78	0,79	0,48	0,81	0,71	0,99	0,75	-0,57	-0,64	0,98	1,00

Table 2

Results of the correlation analysis

Variables	min	max	mean	med	st d	pred	pH vod	humus	N	pH sol	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	K	Moist
min	1.00																
max	-0.95	1.00															
mean	-0.63	0.75	1.00														
med	-0.63	0.75	0.99	1.00													
st d	-0.94	0.94	0.70	0.73	1.00												
(pred)	-0.66	0.77	0.94	0.96	0.78	1.00											
pHvod	0.39	-0.51	-0.47	-0.46	-0.45	-0.49	1.00										
humus	0.49	-0.56	-0.39	-0.36	-0.48	-0.38	0.85	1.00									
N	0.05	-0.19	-0.18	-0.18	-0.14	-0.25	0.55	0.51	1.00								
pHsol	0.40	-0.52	-0.49	-0.48	-0.45	-0.50	0.98	0.92	0.59	1.00							
P ₂ O ₅	0.37	-0.46	-0.39	-0.37	-0.40	-0.40	0.94	0.90	0.53	0.96	1.00						
K ₂ O	0.51	-0.60	-0.52	-0.51	-0.55	-0.55	0.73	0.73	0.44	0.75	0.64	1.00					
Ca	0.30	-0.40	-0.29	-0.25	-0.30	-0.29	0.88	0.90	0.62	0.92	0.92	0.68	1.00				
Mg	-0.33	0.45	0.47	0.44	0.35	0.45	-0.68	-0.78	-0.38	-0.77	-0.72	-0.53	-0.66	1.00			
Na	-0.53	0.57	0.62	0.61	0.56	0.62	-0.53	-0.61	-0.21	-0.59	-0.49	-0.65	-0.44	0.59	1.00		
K	0.47	-0.57	-0.48	-0.46	-0.52	-0.51	0.76	0.74	0.46	0.77	0.68	0.98	0.70	-0.53	-0.56	1.00	
Влаж	0.50	-0.59	-0.51	-0.49	-0.53	-0.54	0.78	0.79	0.48	0.81	0.71	0.99	0.75	-0.57	-0.64	0.98	1.00

В табл. 2 жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции, обладающие высокой ($r = 0,7 \dots 1$) и умеренной ($r = 0,4 \dots 0,7$) силой связи. В табл. 3 показаны t-критерии Стьюдента, жирным шрифтом выделены значимые ($t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$) при уровне значимости $p < 0,01$.

**Расчет фактического t-критерия Стьюдента для проверки
статистической значимости***

Параметры	min	max	mean	med	st d	pred	pH vod	humus	N	pH sol	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	K
min																
max	52,08															
mean	5,56	9,08														
med	5,55	8,98	381,92													
st d	42,24	45,11	7,27	8,1												
(pred)	10,2	44,61	58,73	10,62												
pHvod	2,48	3,64	3,19	3,14	3	3,47										
humus	3,37	4,26	2,43	2,18	3,27	2,34	16,3									
N	0,26	1,04	0,98	1	0,78	1,41	4,16	3,67								
pHsol	2,53	3,8	3,46	3,29	3,01	3,55	119,8	30,42	4,76							
P205	2,3	3,11	2,42	2,29	2,56	2,48	43,48	24,21	3,93	67,99						
K20	3,64	4,92	3,8	3,64	4,14	4,23	8,33	8,31	2,84	9,1	5,67					
Ca	1,77	2,48	1,65	1,42	1,72	1,68	21,12	26,43	5,4	30,49	31,2	6,61				
Mg	1,95	3,03	3,24	2,92	2,14	3	6,69	10,76	2,34	10,1	7,87	3,85	6,26			
Na	3,9	4,43	5,29	5,17	4,26	5,41	3,88	5,05	1,15	4,82	3,44	5,85	2,92	4,79		
K	3,23	4,49	3,26	3,11	3,76	3,69	9,58	8,82	3,13	10,08	6,64	152,18	7,41	3,85	4,29	
Влажн	3,52	4,82	3,61	3,42	3,93	3,98	10,81	10,95	3,33	12,21	7,43	429,64	9,24	4,40	5,74	152,72

* уровень значимости $p < 0,01$; $t_{табл} = 2,76$.

Table 3

Calculation of the actual Student's t-test for verification of statistical significance*

Variables	min	max	mean	med	st d	pred	pH vod	humus	N	pH sol	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Na	K
min																
max	52.08															
mean	5.56	9.08														
med	5.55	8.98	381.92													
st d	42.24	45.11	7.27	8.1												
(pred)	10.2	44.61	58.73	10.62												
pHvod	2.48	3.64	3.19	3.14	3	3.47										
humus	3.37	4.26	2.43	2.18	3.27	2.34	16.3									
N	0.26	1.04	0.98	1	0.78	1.41	4.16	3.67								
pHsol	2.53	3.8	3.46	3.29	3.01	3.55	119.8	30.42	4.76							
P ₂ O ₅	2.3	3.11	2.42	2.29	2.56	2.48	43.48	24.21	3.93	67.99						
K ₂ O	3.64	4.92	3.8	3.64	4.14	4.23	8.33	8.31	2.84	9.1	5.67					
Ca	1.77	2.48	1.65	1.42	1.72	1.68	21.12	26.43	5.4	30.49	31.2	6.61				
Mg	1.95	3.03	3.24	2.92	2.14	3	6.69	10.76	2.34	10.1	7.87	3.85	6.26			
Na	3.9	4.43	5.29	5.17	4.26	5.41	3.88	5.05	1.15	4.82	3.44	5.85	2.92	4.79		
K	3.23	4.49	3.26	3.11	3.76	3.69	9.58	8.82	3.13	10.08	6.64	152.18	7.41	3.85	4.29	
Moist	3.52	4.82	3.61	3.42	3.93	3.98	10.81	10.95	3.33	12.21	7.43	429.64	9.24	4.40	5.74	152.72

* $p < 0.01$; $t_{табл} = 2.76$.

Высокую и умеренную корреляцию между собой показывают такие параметры почвенного плодородия как показатель рН солевого и водного растворов, содержание гумуса и азота, содержание валового калия и обменного калия.

Для всех параметров плодородия почв и значений тона изображений тепловизора наблюдаются умеренные корреляции ($r = 0,4 \dots 0,7$), кроме содержания фосфора и обменного кальция — они имеют низкие корреляции ($r < 0,4$).

Для всех свойств почвенного плодородия, кроме азота и обменного кальция, установлена приемлемая корреляция ($r = 0,4 \dots 0,7$), между ними и данными съемки в тепловом диапазоне спектра. Для умеренных статистически значимых корреляций были составлены уравнения полиномиальной регрессии. Из исследуемых параметров плодородия значимый коэффициент детерминации ($R^2 > 0,60$) с тепловым диапазоном спектра имели рН_{сол.} ($R^2 = 0,61$), оксид калия ($R^2 = 0,60$), обменные катионы калия ($R^2 = 0,63$) (табл. 4). Скорее всего это обусловлено пространственным варьированием степени эродированности почв (присутствием в большем или меньшем количестве на поверхности почв (и, соответственно, в образце) отмытых от гумусных пленок минеральных зерен).

Таблица 4

Полиномиальные зависимости имеющие наивысшие коэффициенты детерминации R^2 между отдельными параметрами плодородия почв и данными теплового изображения

Параметр плодородия	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации
К	$y = 4E - 05x^2 - 0,005x + 0,49$	0,63
рН sol	$y = 0,0001x^2 - 0,015x + 5,21$	0,61
K ₂ O	$y = 0,0206x^2 - 2,62x + 261,31$	0,60

Table 4

Polynomial relationships with the highest normalized coefficients of determinacy between soil fertility parameters and thermal data

Fertility Parameter	Regression equation	Coefficient of determination
K	$y = 4E-05x^2 - 0.005x + 0.49$	0.63
pH sol	$y = 0.0001x^2 - 0.015x + 5.21$	0.61
K ₂ O	$y = 0.0206x^2 - 2.62x + 261.31$	0.60

Выявленные закономерности для тепловой области спектра и рН почвы подтверждают результаты исследований [19].

Также были подтверждены взаимосвязи между изображением в тепловой области спектра и содержанием катиона калия, которые выявили ранее на соседнем поле [25]. Но коэффициент корреляции ($K^+ = 0,63$) оказался несколько ниже, чем

ранее ($K^+ = 0,68$). Однако, не было выявлено взаимосвязей между содержанием органического вещества почвы и изображением в тепловой области спектра, установленных в исследованиях других авторов [26, 27]. Это может быть связано с тем, что варьирование содержания гумуса в образцах почв в нашем случае было гораздо меньшим, чем в случаях, рассматриваемых этими авторами.

Не было установлено взаимосвязи между изображением в тепловой области спектра и влажностью почв, хотя, согласно литературным данным, эта связь должна быть [9, 28, 29]. Ее отсутствие, вероятно, обусловлено тем, что влажность почвы внутри пахотного горизонта почвы может сильно отличаться от влажности открытой поверхности пахотных почв, которая и предопределяет характер формирования отражения почв и их изображения на данных тепловой съемки [8].

На рис. 3 и в табл. 5 показаны полиномиальные уравнения регрессии, наиболее достоверно демонстрирующие взаимосвязи между параметрами плодородия почв и изображением в тепловом диапазоне спектра.

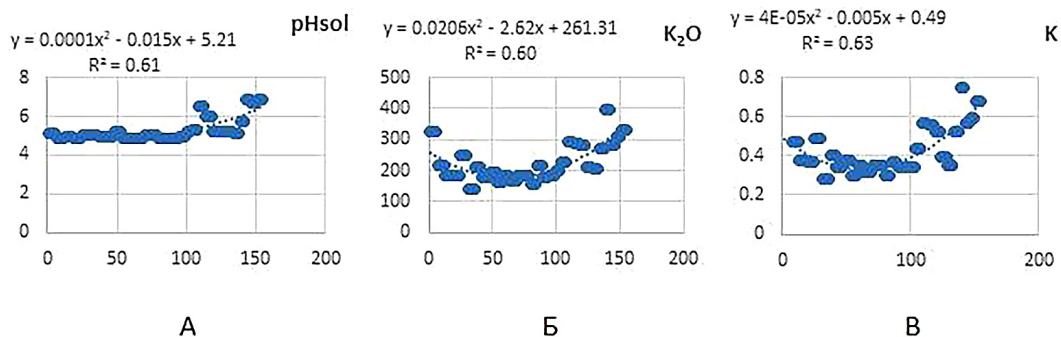


Рис. 3. Регрессионные зависимости между параметрами отражения электромагнитных волн в TIR диапазоне с pH sol (А), оксида калия (Б), обменного калия (В)

Источник: сделано авторами

Fig. 3. Regression relationships between electromagnetic wave reflections in the TIR diapason with soil contents of pH sol (A), potassium oxide (Б) and exchangeable potassium (В)

Source: made by the authors

Таблица 5

Результаты регрессионного анализа

Уравнение	Число степеней свободы	Критерий Фишера, уровень значимости 0,05		Средняя ошибка аппроксимации по результатам кросс-валидации, %
		F _{фактическое}	F _{табличное}	
Оксид калия	154	37,07428	3,90	18,01712
Калий	148	39,77087	3,92	17,97155
pH sol	154	35,076	3,90	6,622236

Results of the regression analysis

Equation	Number of degrees of freedom	Fisher's criterion, level significance 0.05		Average approximation error based on cross-validation results, %
		F _{fact}	F _{tabl}	
K ₂ O	154	37.07428	3.90	18.01712
K	148	39.77087	3.92	17.97155
pH sol	154	35.076	3.90	6.622236

Согласно регрессионному анализу, наиболее достоверными являются полиномиальные регрессии (см. табл. 5).

На рис. 3 показаны достоверные полиномиальные зависимости, имеющие наивысшие коэффициенты детерминации R².

Соответственно на основе данных тепловой съемки на исследуемой территории оказалось возможным надежно детектировать лишь содержание обменного калия, оксида калия, рН_{сол}.

Конечно же, эти зависимости справедливы лишь для изученного поля и не могут быть экстраполированы на другие поля.

Следовательно, съемка в тепловом диапазоне может применяться для картографирования некоторых параметров почвенного плодородия региона исследования. Исследования показали, что для тестового поля оказалось невозможным на основе данных тепловой съемки надежно отдетектировать все основные параметры плодородия почв поля. Но в качестве дополнительных данных к данным съемки в видимом и ближнем ИК диапазонах, подобные данные могут быть без сомнения полезными и могут повысить точность мониторинга параметров плодородия почв на основе данных дистанционного зондирования.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено:

- 1) для тестового участка из всех проанализированных параметров плодородия почв могут быть надежно детектированы лишь содержание обменного калия, оксида калия и рН почвы в пахотном горизонте почв;
- 2) полученные взаимосвязи можно использовать как основу для получения карт некоторых параметров почвенного плодородия исследуемой территории с помощью дистанционного мониторинга;
- 3) все выявленные зависимости строго привязаны к региону исследования и могут быть недостоверны для полей с отличающимся строением почвенного покрова.

Библиографический список/ References

1. Savin IY, Simakova MS. Sputnikovye tekhnologii dlya inventarizatsii i monitoringa pochv v Rossii [Satellite technologies for soil inventory and monitoring in Russia]. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2012;9(5):104–115. (In Russ.).

Савин И.Ю., Симакова М.С. Спутниковые технологии для инвентаризации и мониторинга почв в России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 104–115.

2. Gomez C, Rossel RAV, McBratney AB. Soil organic carbon prediction by hyperspectral remote sensing and field vis-NIR spectroscopy: An Australian case study. *Geoderma*. 2008;146(3–4):403–411. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.06.011

3. Khayamim F, Wetterlind J, Khademi H, Robertson J, Cano AF, Stenberg B. Using visible and near infrared spectroscopy to estimate carbonates and gypsum in soils in arid and subhumid regions of Isfahan, Iran. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*. 2015;23(3):155–165. doi: 10.1255/jnirs.1157

4. Demattè JAM, Ramirez-Lopez L, Marques KP, Rodella AA. Chemometric soil analysis on the determination of specific bands for the detection of magnesium and potassium by spectroscopy. *Geoderma*. 2017;288:8–22. doi: 10.1016/j.geoderma.2016.11.013

5. Shao Y, He Y. Nitrogen, phosphorus, and potassium prediction in soils, using infrared spectroscopy. *Soil Research*. 2011;49(2):166–172. doi: 10.1071/SR10098

6. Rossel RAV, Walvoort DJJ, McBratney AB, Janik LJ, Skjemstad JO. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*. 2006;131(1–2):59–75. doi: 10.1016/j.geoderma.2005.03.007

7. Soriano-Disla JM, Janik LJ, Rossel RAV, Macdonald LM, McLaughlin MJ. The performance of visible, near-, and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical, and biological properties. *Applied spectroscopy reviews*. 2014;49(2):139–186. doi: 10.1080/05704928.2013.811081

8. Savin, IY, Vindeker GV. Some specifics in using optical properties of soil surface for moisture detection. *Eurasian Soil Science*. 2021;54(7):1019–1027. (In Russ.). doi: 10.31857/S0032180X21070121

Савин И.Ю., Виндекер Г.В. Некоторые особенности использования оптических свойств поверхности почв для определения их влажности // Почвоведение. 2021. № 7. С. 806–814. doi: 10.31857/S0032180X21070121

9. Han L, Wang C, Liu Q, Wang G, Yu T, Gu X, et al. Soil moisture mapping based on multi-source fusion of optical, near-infrared, thermal infrared, and digital elevation model data via the Bayesian maximum entropy framework. *Remote Sensing*. 2020;12(23):3916. doi: 10.3390/rs12233916

10. Mira M, Valor E, Caselles V, Rubio E, Coll C, Galve JM, et al. Soil moisture effect on thermal infrared (8–13- μm) emissivity. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2010;48(5):2251–2260. doi: 10.1109/TGRS.2009.2039143

11. Sanchez JM, French AN, Mira M, Hunsaker DJ, Thorp KR, Valor E, et al. Thermal infrared emissivity dependence on soil moisture in field conditions. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*. 2011;49(11):4652–4659. doi: 10.1071/SR10098

12. Ivannikov DI, Chekin VV, Melnik MS, Fedoseeva EV, Sivokon YV. Monitoring of agricultural land with using remote sensing technology. *Young Science*. 2014;1(2):52–55. (In Russ.).

Иванников Д.И., Чекин В.В., Мельник М.С., Федосеева Е.В., Сивоконь Ю.В. Мониторинг сельскохозяйственных угодий с использованием дистанционных технологий // Young Science. 2014. Т. 1. № 2. С. 52–55.

13. Liu Q, Yan C, Xiao Q, Yan G, Fang L. Separating vegetation and soil temperature using airborne multiangular remote sensing image data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2012;17:66–75. doi: 10.1016/j.jag.2011.10.003

14. Xu L, Wang Z, Hu J, Wang S, Nyongesah M. Estimation of soil salinity under various soil moisture conditions using laboratory based thermal infrared spectra. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 2021;49:959–969. doi: 10.1007/s12524–020–01271–9

15. Silvero NEQ, Di Raimo LADL, Pereira GS, de Magalhães LP, da Silva Terra F, Dassan MAA, et al. Effects of water, organic matter, and iron forms in mid-IR spectra of soils: Assessments from laboratory to satellite-simulated data. *Geoderma*. 2020;375:114480. doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114480

16. Eisele A, Lau I, Hewson R, Carter D, Wheaton B, Ong C, et al. Applicability of the thermal infrared spectral region for the prediction of soil properties across semi-arid agricultural landscapes. *Remote Sensing*. 2012;4(11):3265–3286. doi:10.3390/rs4113265

17. Ivushkin K, Bartholomeus H, Bregt AK, Pulatov A, Kempen B, de Sousa L. Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*. 2019;231:111260. doi: 10.1016/j.rse.2019.111260

18. Xu C, Qu J, Hao X, Zhu Z, Gutenberg L. Surface soil temperature seasonal variation estimation in a forested area using combined satellite observations and in-situ measurements. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020;91:102156. doi: 10.1016/j.jag.2020.102156

19. Zhang Y, Shen H, Gao Q, Zhao L. Estimating soil organic carbon and pH in Jilin Province using Landsat and ancillary data. *Soil Science Society of America Journal*. 2020;84(2):556–567. doi: 10.1002/saj2.20056

20. Sorokina NP. *Struktura pochvennogo pokrova pakhotnykh zemel': tipizatsiya, kartografirovaniye, agroekologicheskaya otsenka* [Structure of soil cover of arable land: Typification, mapping, agroecological assessment]. Moscow; 2003. (In Russ.).

Сорокина Н.П. Структура почвенного покрова пахотных земель: типизация, картографирование, агроэкологическая оценка: дис. ... д-ра сельскохозяйственных наук. М., 2003. 294 с.

21. Interstate Council for Standardization, Methodology and Certification. GOST 26107–84. *Pochvy. Metody opredelenija obshhego azota* [Soils. Methods for determining total nitrogen]. Moscow; 1984. (In Russ.).

ГОСТ 26107–84. Почвы. Методы определения общего азота. М.: Изд-во стандартов, 1984. 11 с.

22. Kireev IM, Koval ZM. *Metod i sredstvo dlya ekspress-otsenki vlazhnosti pochvy* [Method and tool for rapid assessment of soil moisture]. *AgroForum*. 2019;(5):20–23. (In Russ.).

Киреев И.М., Коваль З.М. Метод и средство для экспресс-оценки влажности почвы // АгроФорум. 2019. № 5. С. 20–23.

23. Palombo A, Pascucci S, Loperte A, Lettino A, Castaldi F, Muolo MR, et al. Soil moisture retrieval by integrating TASI-600 airborne thermal data, WorldView 2 satellite data and field measurements: Petacciato case study. *Sensors*. 2019;19(7):1515. doi: 10.3390/s19071515

24. Hassan AM, Belal AA, Hassan MA, Farag FM, Mohamed ES. Potential of thermal remote sensing techniques in monitoring waterlogged area based on surface soil moisture retrieval. *Journal of African Earth Sciences*. 2019;155:64–74. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2019.04.005

25. Grubina PG, Savin IY, Prudnikova EY. The possibilities of using thermal infrared imaging data for detecting the main parameters of arable soil fertility. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2020;(105):146–172. (In Russ.). doi: 10.19047/0136–1694–2020–105–146–172

Грубина П.Г., Савин И.Ю., Прудникова Е.Ю. Возможности использования данных тепловой съемки для детектирования основных параметров плодородия пахотных почв // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. № 105. С. 146–172. doi: 10.19047/0136–1694–2020–105–146–172

26. Pascucci S, Casa R, Belviso C, Palombo A, Pignatti S, Castaldi F. Estimation of soil organic carbon from airborne hyperspectral thermal infrared data: a case study. *European Journal of Soil Science*. 2014;65(6):865–875. doi: 10.1111/ejss.12203

27. Eisele A, Chabrillat S, Hecker C, Hewson R, Lau IC, Rogass C, et al. Advantages using the thermal infrared (TIR) to detect and quantify semi-arid soil properties. *Remote Sensing of Environment*. 2015;163:296–311. doi: 10.1016/j.rse.2015.04.001

28. Ait Hssaine B, Chehbouni A, Er-Raki S, Khabba S, Ezzahar J, Ouaadi N, et al. On the Utility of High-Resolution Soil Moisture Data for Better Constraining Thermal-Based Energy Balance over Three Semi-Arid Agricultural Areas. *Remote Sensing*. 2021;13(4):727. doi: 10.3390/rs13040727

29. Yuan L, Li L, Zhang T, Chen L, Liu W, Hu S, et al. Modeling soil moisture from multisource data by stepwise multilinear regression: an application to the Chinese loess plateau. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 2021;10(4):233. doi: 10.3390/ijgi10040233

Об авторах:

Грубина Прасковья Георгиевна — младший научный сотрудник, ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», 119017, Российская Федерация, г. Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 2; e-mail: grubina_pg@esoil.ru
ORCID: 0000–0001–6325–4604

SPIN-код: 8805–9813

Савин Игорь Юрьевич — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, профессор Института экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; главный научный сотрудник, ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева», Российская Федерация, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2; e-mail: savin_iyu@esoil.ru

ORCID: 0000–0002–8739–5441

SPIN-код: 5132–0631

About authors:

Grubina Praskovya Georgievna — Junior Researcher, Dokuchaev Soil Science Institute, 7/2 Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russian Federation; e-mail: grubi-na_pg@esoil.ru

ORCID: 0000–0001–6325–4604 SPIN: 8805–9813

Savin Igor Yurievich — Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Institute of Ecology, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Chief Researcher, Dokuchaev Soil Science Institute, 7/2 Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russian Federation; e-mail: savin_iyu@esoil.ru

ORCID: 0000–0002–8739–5441 SPIN: 5132–0631




Морфология и онтогенез животных Morphology and ontogenesis of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-212-221
EDN WHXSHC
УДК 619: 615.5–007.61–073.43

Научная статья / Research article

Макро- и микроморфологические особенности предстательно-пузырного комплекса у собак

Д.А. Голубцова  , Н.А. Слесаренко 

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии —
МВА имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация
 golubtsova.daria96@gmail.com

Аннотация. Отражены результаты макро- и микроморфологических исследований пузырно-предстательного комплекса у собак (*Canis familiaris*), направленных на установление нормативных морфофункциональных закономерностей и особенностей органов мочеполового аппарата. Приведены морфометрические показатели органа у некастрированных самцов, обусловленные соматотипом и породной принадлежностью. Данные, отражающие вариативность нормы строения железы, являются базовыми при прогнозировании развития латентных патологий простаты и разработке эффективных методов их терапевтической коррекции.

Ключевые слова: семейство Canidae, собака, самцы, простата, предстательная железа

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

Вклад авторов. Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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




Для цитирования: Голубцова Д.А., Слесаренко Н.А. Макро- и микроморфологические особенности предстательно-пузырного комплекса у собак // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 212—221. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-212-221


© Голубцова Д.А., Слесаренко Н.А., 2023



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

Macro and micromorphological features of prostate-vesical complex in dogs

Daria A. Golubtsova  , Natalya A. Slesarenko 

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology —
MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russian Federation
 golubtsova.daria96@gmail.com

Abstract. The results of macro and micromorphological studies of vesicoprostatic complex in dogs *Canis familiaris* aimed at establishing normative morphofunctional patterns and features of the urogenital apparatus were described. The morphometric parameters of the organ in non-castrated males, determined by somatotype and breed affiliation, were presented. Data reflecting the variability of the norm structure of the gland are basic in predicting the development of latent pathologies of prostate and in developing effective methods for their therapeutic correction.

Key words: Canidae family, dog, males, prostate, prostate gland

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

Author contributions. All authors have made an equivalent contribution to the article.

Article history: Received: 20 February 2023. Accepted: 20 March 2023.

For citation: Golubtsova DA, Slesarenko NA. Macro and micromorphological features of prostate-vesical complex in dogs. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):212—221. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-212-221

Введение

Известно, что органы мочеполового аппарата тесно связаны не только анатомически, но и функционально, обеспечивая проведение мочи и половых продуктов [1–3]. Вследствие вышеуказанного, в организме животного сформировалась интегрированная структура — пузырно-предстательный комплекс, в составе которого мочевого пузырь, предстательная железа и простатическая часть мочеполового канала [4]. Вместе с тем, практически отсутствуют макро- и микроморфологические данные, характеризующие взаимосвязь между органами его формирующими у собаки домашней [5, 6]. Эти данные могут явиться базовыми в вопросах совершенствования методов диагностики широко распространенных патологических состояний предстательной железы и топографически сопряженных с ней органов [7–11].

Цель исследования — представить комплексную макро- и микроморфологическую характеристику пузырно-предстательного комплекса у собаки домашней.

Задачи исследования:

- 1) установить общие закономерности и особенности анатомического устройства предстательной железы у собаки домашней;
- 2) представить макро- и микроморфологические параметры простаты с учетом соматотипа животных;
- 3) выявить структурно-функциональные связи предстательной железы, мочевого пузыря и уретры.

Материалы и методы исследования

Исследования выполнены на базе кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина и Центра репродукции и здоровья животных «Ковчег».

Объекты исследования — самцы семейства Canidae с учетом соматотипа и возраста. Отобраны клинически здоровые интактные самцы собаки домашней (*Canis familiaris*) — 181 животное в возрасте от 1 года до 7 лет, из них 98 особей распределены на четыре подгруппы с учетом стандарта массы тела по породе: собаки мелких пород (до 10 кг), средних (11...25 кг), крупных (26...50 кг) и гигантских (более 50 кг). Для сравнительного макро- и микроморфологического изучения органов пузырно-предстательного комплекса отобрали секционный материал от достигших физиологической зрелости самцов ($n = 30$), возраст которых не превышал 7 лет. Путем обычного тонкого анатомического препарирования выделяли органы мочеполового аппарата, сохраняя между ними анатомические связи (рис. 1). Макроморфометрию предстательной железы проводили по трем линейным параметрам (длина, высота, ширина). Для микроморфологических исследований отбирали образцы органов предстательно-пузырного комплекса, которые фиксировали в 10 % нейтральном формалине.

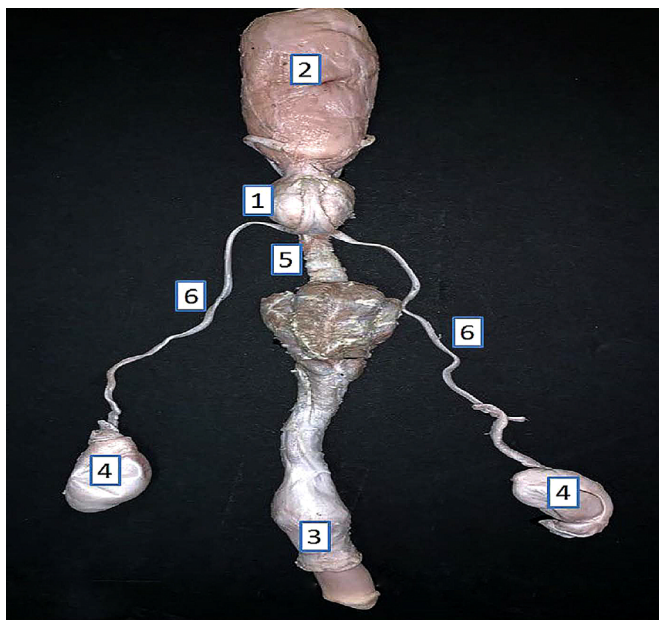


Рис. 1. Эвисцерированный органокomплекс мочеполового аппарата половозрелого самца породы боксер: 1 — предстательная железа; 2 — мочевой пузырь; 3 — половой член; 4 — семенники; 5 — мочеиспускательный канал; 6 — семяпровод. Оригинальный макропрепарат
Источник: сделано авторами

Fig. 1. Eviscerated organocomplex of genitourinary apparatus of a sexually mature male boxer breed: 1 — prostate gland; 2 — bladder; 3 — penis; 4 — testicles; 5 — urethra; 6 — spermatic vessel.
Original macropreparation
Source: made by the authors

После фиксации образцы промывали водопроводной водой (24 ч), обезвоживали в спиртах возрастающей крепости (от 50 до 100°) и заливали в парафин-воск. Серийные парафиновые срезы толщиной 5...10 мкм изготавливали на универсальном автоматизированном микротоме HM-360 (Mikron).

Изучение общей морфологической картины осуществляли при помощи светового микроскопа Jenamed 2 (Carl Zeiss, Jena, Germany) после окрашивания гистологических срезов гематоксилином и эозином.

Микрофотосъемку выполняли при помощи микроскопа Jenamed 2 (Carl Zeiss, Jena, Germany), совмещенного с системой цифровой микроскопии ImageScope по общепринятым методикам.

Результаты исследований и обсуждение

На основании данных анатомического препарирования установлены общие анатомо-топографические закономерности пузырно-предстательного комплекса у собак независимо от морфотипа и породных особенностей. Выявлено, что у всех изученных животных предстательная железа расположена в середине вентрального контура краниальной апертуры тазовой полости, каудальнее шейки мочевого пузыря, при этом анатомически является труднодоступным органом. Простата полностью охватывает прокисмальную часть мочеполового канала и каудальную часть семявыносящих протоков. Макроморфологически предстательная железа характеризуется шаровидной формой, желтоватым цветом, плотной и эластичной консистенцией, наличием двух симметричных долей, которые охватывают мочеполовой канал с дорсальной и вентральной сторон и несут слабовыраженные дорсальную и вентральную продольные борозды [12, 13]. В результате макроморфологического анализа выявлено, что предстательная железа плотно окружает простатическую часть мочеполового канала, а также тесно консолидирована с шейкой мочевого пузыря. На основании данных анатомического макро- и микропрепарирования у собаки установлены взаимосвязи железы с топографически сопряженными органами. Краниально она тесно контактирует с детрузором мочевого пузыря, а вентральной поверхностью — с простатической частью уретры, вплетаясь в фиброзно-мышечную строму его наружной оболочки (рис. 2).

Результаты макро- и микропрепарирования, свидетельствующие о тесном структурном взаимодействии простаты и мочевого пузыря, обосновывают возможность регулирования оттока мочи из пузырно-предстательного комплекса [14]. Микроскопическая картина простаты позволяет отнести ее как у собак, так и у других таксономических групп, к типичному паренхиматозному органу, который представлен железистой паренхимой и мышечно-эластической стромой (рис. 3) [15].

При изучении структурной организации стромы выявлено наличие общей соединительно-тканной капсулы, покрывающей органы пузырно-предстательного комплекса, которая с наружной поверхности предстательной железы распростра-

ется на мочевой пузырь и простатическую часть мочевого канала (рис. 4, 5), что полностью ассоциируется с установленными нами макроморфологическими данными. Наружный слой капсулы представлен рыхлой волокнистой соединительной тканью с коллагеновыми волокнами, а внутренний включает в себя гладкие и поперечно-исчерченные мышечные волокна.

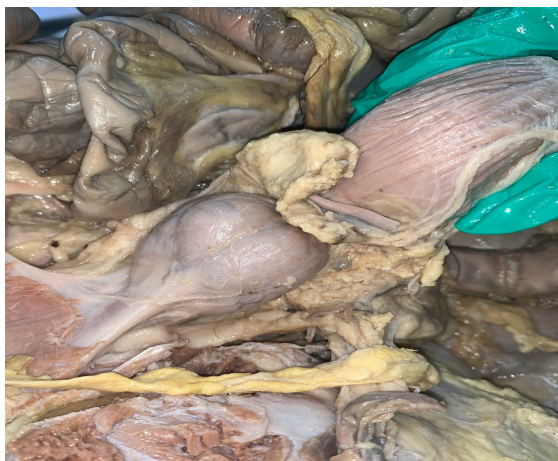


Рис. 2. Макроморфологическая картина пузырьно-предстательного комплекса у собаки: 1 – мочевой пузырь; 2 – предстательная железа; 3 – тесная взаимосвязь шейки мочевого пузыря с предстательной железой

Источник: сделано авторами

Fig. 2. Macromorphological picture of vesico-prostate complex in a dog: 1 – bladder; 2 – prostate gland; 3 – close relationship of the bladder neck with the prostate gland
Source: made by the authors

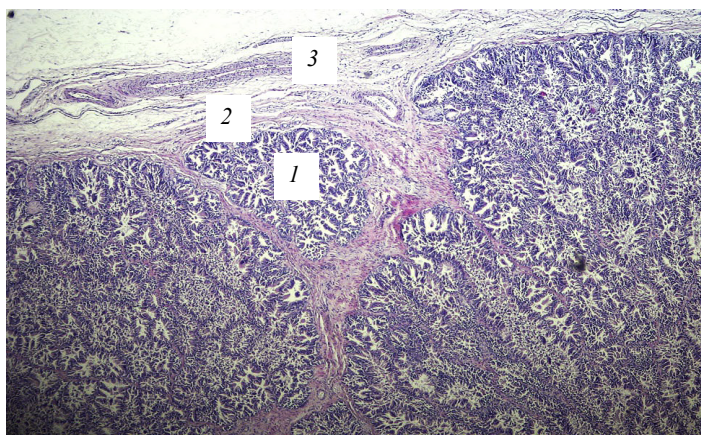


Рис. 3. Микроморфологическая картина предстательной железы.

Гематоксилин и эозин, об. 4, ок. 10; 1 – железистая паренхима; 2 – подслизистая основа; 3 – собственная пластинка слизистой оболочки

Источник: сделано авторами

Fig. 3. Micromorphological picture of prostate. Hematoxylin and eosin, 4x objective, 10x ocular: 1 – glandular parenchyma; 2 – tela submucosa; 3 – lamina propria
Source: made by the authors

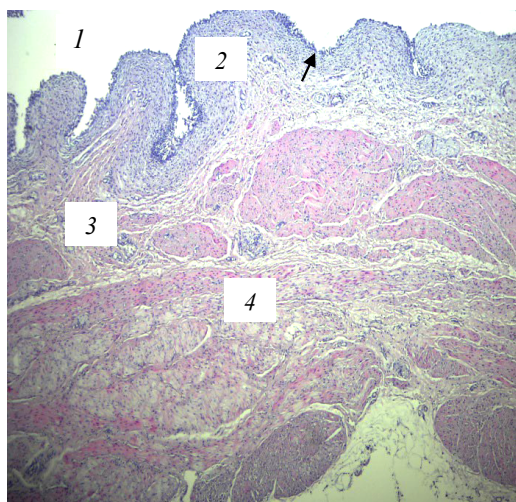


Рис. 4. Микроморфологическая картина мочевого пузыря. Гематоксилин и эозин, об.4, ок.10: 1 – полость мочевого пузыря; 2 – собственная пластинка слизистой оболочки; 3 – подслизистая основа; 4 – мышечная оболочка, переходный эпителий (стрелка)

Источник: сделано авторами

Fig. 4. Micromorphological picture of bladder. Hematoxylin and eosin, 4x objective, 10x ocular: 1 – bladder cavity; 2 – lamina propria; 3 – submucosa; 4 – muscular membrane, transitional epithelium (arrow)

Source: made by the authors

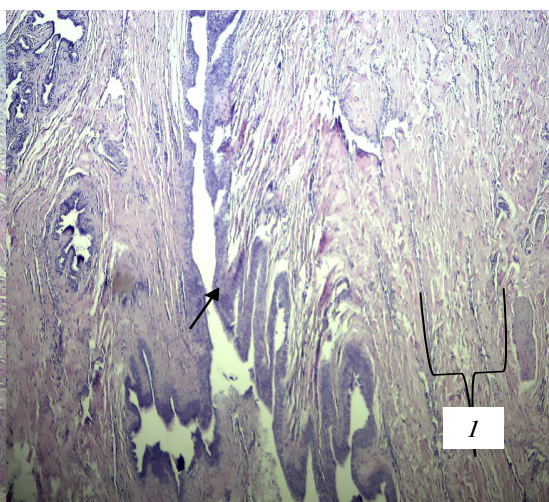


Рис. 5. Микроморфологическая картина уретры собаки.

Гематоксилин и эозин, об. 4, ок. 10:

1 – мышечная оболочка, переходный эпителий слизистой оболочки (стрелка)

Источник: сделано авторами

Fig. 5. Micromorphological picture of the dog's urethra. Hematoxylin and eosin, 4x objective, 10x ocular: 1 – muscular coat, transitional epithelium of the mucous membrane (arrow)

Source: made by the authors

Капсула формирует внутри железы внутриорганные перегородки из гладких миоцитов и небольшого представительства коллагеновых волокон, что обуславливает ее дольчатость. В перегородках мы выявили сосуды и нервы (рис. 6).

В формировании перегородок принимает участие также подслизистая основа мочепоолового канала. В паренхиме простаты четко дифференцируются три группы долек: главные, промежуточные и внутренние. В составе паренхимы обнаружены многочисленные железы, которые локализуются как в слизистом слое, так и в подслизистой основе органа, закладывая выводные протоки, открывающиеся в мочеиспускательный канал. Железы выстланы многорядным призматическим эпителием. Вместе с тем, в области функционально-активных секретирующих отделов выводные протоки заметно увеличиваются в диаметре и эпителий приобретает признаки низкого призматического однорядного. Хорошо развитая подслизистая основа органа включает в себя гладкомышечные волокна и формирует перегородки внутри органа. В ее составе выявлено три группы долек: главные — наиболее многочисленные, расположенные в капсуле, имеют форму усеченного конуса; промежуточные — овально-округлой формы и внутренние — располагаются в подслизистой основе мочепоолового канала.

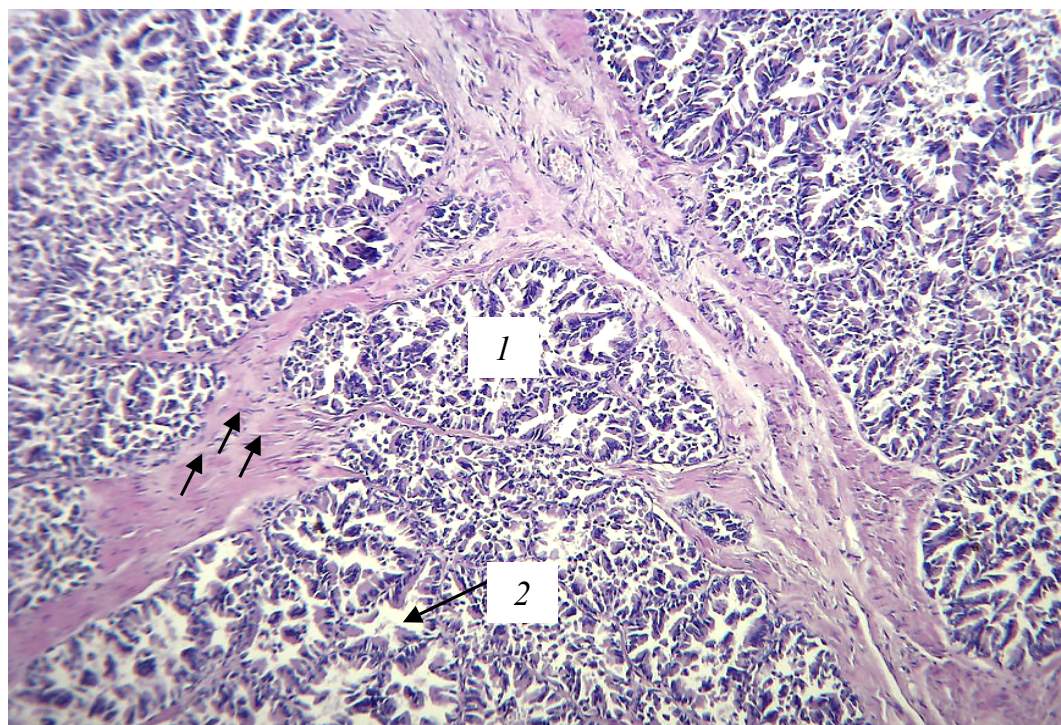


Рис. 6. Микроморфологическая картина предстательной железы самца собаки. Гематоксилин эозин, об. 10, ок. 10: стрелки — гладкомышечные клетки в составе капсулы; **1** — железистая паренхима; **2** — секреторные отделы
Источник: сделано авторами

Fig. 6. Micromorphological picture of prostate gland of a male dog. Hematoxylin and eosin, 10× objective, 10× ocular: Smooth muscle cells in the capsule (arrows); **1** — glandular parenchyma; **2** — secretory sections
Source: made by the authors

Концевые отделы простаты характеризуются альвеолярно-трубчатым строением. В них присутствует два вида клеток: слизистые экзокриноциты кубической или призматической формы, а также мелкие вставочные клетки. Концевые отделы предстательной железы объединены внутри долек системой протоков. Из внутридольковых протоков секрет попадает в систему собирательных протоков, которые открываются отверстиями в просвет простатической части мочеполового канала в складках его слизистой оболочки. Концевые отделы представлены однослойным цилиндрическим эпителием, апикальные части миоэпителиоцитов, которые ярко выражены в окружающей концевые отделы области, характеризуются признаками меро-апокриновой секреции. Сокращение миоэпителиоцитов способствует облегчению опорожнения отделов при выбросе эякулята. Выводные протоки, отходящие от концевых отделов, по своей структурной организации соответствуют альвеолярно-трубчатому типу, открываются в уретру и характеризуются у собак узким просветом.

Заключение

Установлены морфофункциональные особенности комплекса органов мочевого аппарата у собаки домашней, которые выражаются в их структурной взаимосвязи. Она подтверждается наличием общей капсулы в органах предстательнопузырного комплекса, построенной из рыхлой соединительной ткани, которая является источником соединительнотканного каркаса для предстательной железы — ее внутриорганных перегородок, подразделяющих орган на доли, вариабельные по форме и величине. Концевые отделы и выводные протоки паренхимы простаты соответствуют альвеолярно-трубчатому строению. Результаты исследования могут быть использованы в совершенствовании методов диагностики состояния органов мочевого аппарата.

Библиографический список

1. Пигарева Г.П., Черная К.О. Заболевания предстательной железы у собак // Ветеринарно-санитарные аспекты качества и безопасности сельскохозяйственной продукции: Материалы V международной научно-практической конференции, Воронеж, 16 декабря 2021 г. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. Ч. 2. С. 294–299.
2. Иглов Ю.А., Хазимов А.М. Индивидуальные особенности анатомического строения и морфометрическая характеристика устьев мочеточников // Альманах молодой науки. 2015. № 3. С. 17–19.
3. Кабанова И.В., Мудрая И.С. Морфофункциональная взаимосвязь мочевого пузыря и предстательной железы // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2013. Т. 3. № 5. С. 918–922.
4. Кабанова И.В., Мудрая И.С., Надточий О.Н., Курпатовский В.И. Взаимосвязь нейрогенной регуляции предстательной железы и мочевого пузыря в разные фазы функциональной активности // Экспериментальная и клиническая урология. 2014. № 1. С. 10–15.
5. Будник А.Ф., Урусбамбетов А.Х., Богатырева О.Е., Нерсисян Н.А. Паренхима простаты в возрастном аспекте // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2011. № 3. С. 70–73.
6. Barsanti J.A. Management of prostatic diseases // BSAVA Manual of canine and feline nephrology and urology second edition / ed. J. Elliot, G.F. Grauer. India: Replika Press Pvt. Ltd, 2007. P. 239–252.
7. Назимкина С.Ф., Костылев В.А. Клинико-морфологическая и ультразвукографическая характеристика собак с доброкачественной гиперплазией предстательной железы // Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 36. С. 93–97.
8. Воробьевская С.В., Стаценко М.И., Ковалева В.Ю., Наумова С.В. Совершенствование диагностики и лечения заболеваний предстательной железы у собак // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. № 4(22). С. 17–30.
9. Тельпухов В.И., Лапшин Н.В., Андреев И.Д. Диагностика и лечение заболеваний предстательной железы у собак // Десятый Московский международный ветеринарный конгресс (Москва, 11–13 апреля 2002 г.): материалы. М., 2002. С. 79–80.
10. Хоришко П.А. Практический подход к диагностике и лечению простатитов у собак // Вестник ветеринарии. 2004. № 3. С. 36–41.
11. Johnston S.D., Kamoplatana K., Root-Kustritz M.V., Johnston G.R. Prostatic disorders in the dog // Animal Reproduction Science. 2000. № 60–61. P. 405–415.
12. Слесаренко Н.А., Голубцова Д.А., Колядина Н.А. Особенности строения предстательной железы у собак // Сборник научных трудов 11-й Международной межвузовской конференции по клинической ветеринарии в формате Purina Partners, Москва, 08 декабря 2021 г. М.: АКАДЕМИЯ ПРИНТ, 2021. С. 463–468.
13. Слесаренко Н.А., Колядина Н.А., Голубцова Д.А. Морфологические и морфометрические показатели предстательной железы у собак // Ветеринария и кормление. 2022. № 2. С. 50–52.
14. Basinger R.R., Robinette C.L., Spaulding K.A., Saunders W.B. The prostate // Textbook of Small Animal Surgery / D. Slatter ed. Philadelphia, 2003. P. 1542–1557.
15. Цыдыпов Р.Ц., Попов А.П. Морфофункциональные особенности предстательной железы разных видов животных // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2010. № 7(211). С. 107–110.

References

1. Pigareva GP, Chernaya KO. Prostate diseases in dogs. In: *Veterinary and sanitary aspects of quality and safety of agricultural products: conference proceedings. Part 2*. Voronezh; 2021. p.294–299. (In Russ.).
2. Iglov YA, Khazimov AM. Individual features of the anatomical structure and morphometric characteristics of the mouths of the ureters. *Almanac of young science*. 2015;(3):17–19. (In Russ.).
3. Kabanova IV, Mudraya IS. Morphofunctional relationship of the bladder and prostate. *Bulletin of Medical Internet Conferences*. 2013;3(5):918–922. (In Russ.).
4. Kabanova IV, Mudraya IS, Nadtochiy ON, Kirpatovskiy VI. Interrelation between neural control of urinary bladder and prostate during different phases of bladder activity. *Experimental and clinical urology*. 2014;(1):10–15. (In Russ.).
5. Budnik AF, Urusbambetov AK, Bogatyreva OE, Nersesyan NA. Prostate parenchyma in related aspect. *Medical News of North Caucasus*. 2011;(3):70–73. (In Russ.).
6. Barsanti JA. Management of prostatic diseases. In: Elliot J, Grauer GF. (eds.) *BSAVA Manual of canine and feline nephrology and urology*. 2nd ed. India: Replika Press Pvt. Ltd; 2007. p.239–252.
7. Nazimkina SF, Kostylev VA. Clinical morphology and ultrasound characteristics of dogs with benign prostatic hyperplasia. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2017;(36):93–97. (In Russ.).
8. Vorobievskaya SV, Statsenko MI, Kovaleva VY, Naumova SV. Improving the diagnostics and treatment of dogs prostate diseases. *Actual issues in agricultural biology*. 2021;(4):17–30. (In Russ.).
9. Telpukhov VI, Lapshin NV, Andreev ID. Diagnosis and treatment of prostate diseases in dogs. In: *The tenth Moscow International Veterinary Congress*. Moscow; 2002. p.79–80. (In Russ.).
10. Khorishko PA. A practical approach to the diagnosis and treatment of prostatitis in dogs. *Vestnik veterinarii*. 2004;(3):36–41. (In Russ.).
11. Johnston SD, Kamoplatana K, Root-Kustritz MV, Johnston GR. Prostatic disorders in the dog. *Animal Reproduction Science*. 2000;60–61:405–415. doi: 10.1016/S0378-4320(00)00101-9
12. Slesarenko NA, Golubtsova DA, Kolyadina NI. Features of structure of prostate gland in dogs. *Collection of scientific papers of the 11th International Interuniversity Conference on Clinical Veterinary Medicine in the Purina Partners format*. Moscow; 2021. p.463–468. (In Russ.).
13. Slesarenko NA, Kolyadina NA, Golubtsova DA. Morphological and morphometric indicators of the prostate gland in dogs. *Veterinaria i kormlenie*. 2022;(2):50–52. (In Russ.). doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2022-2-14
14. Basinger RR, Robinette CL, Spaulding KA, Saunders WB. The prostate. In: Slatter DH. (ed.) *Textbook of Small Animal Surgery*. Philadelphia; 2003. p.1542–1557.
15. Tsydypov RT, Popov AP. Morphological and functional features of prostate gland in various animal species. *Siberian herald of agricultural science*. 2010;(7):107–110. (In Russ.).

Об авторах:

Голубцова Дарья Андреевна — аспирант кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: golubtsova.daria96@gmail.com

ORCID: 0009-0005-0825-6347 AuthorID: 1168903

Слесаренко Наталья Анатольевна — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А.Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: slesarenko2009@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8350-5965 AuthorID: 505768

About authors:

Golubtsova Daria Andreevna — post-graduate student, Department of Animal Anatomy and Histology named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Scriabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: golubtsova.daria96@gmail.com

ORCID: 0009-0005-0825-6347 AuthorID: 1168903

Slesarenko Natalya Anatolyevna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Animal Anatomy and Histology named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology — MVA named after K.I. Skryabin, 23 Akademika Scriabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: slesarenko2009@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-8350-5965 AuthorID: 505768



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-222-229

EDN PVGITG

УДК 57:619:591.2

Научная статья / Research article

Влияние типа высшей нервной деятельности на физиологические особенности спермы котов российской селекции

А.В. Петряева¹ , А.В. Ткачев^{1,2}  , О.Л. Ткачева² ¹Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация²Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева,

г. Москва, Российская Федерация

 sasha_sashaola@mail.ru

Аннотация. Темперамент оказывает существенное влияние на репродуктивную функцию. Большинство исследований посвящены темпераменту как психической характеристике животных, и совершенно не изучался гендерный темперамент котов *Felis catus* и его влияние на физиологические характеристики спермы. Цель исследования — изучить физиологические особенности репродуктивной функции котов российской селекции в зависимости от гендерного темперамента. Исследование выполняли с 2019 по 2022 гг. в Москве и Московской области. Использовали 21 племенного половозрелого кота в возрасте от 2 до 8 лет пяти пород российской селекции: бенгальской, британской короткошерстной, мейн-кун и сфинкс — по 5 голов, сибирской — 6 голов. Гендерный темперамент котов определяли по собственной методике, разрабатываемой на основании модификации способа определения гендерного темперамента для жеребцов. Подвижность нативных спермиев была наименьшей у котов со слабой нервной системой, что на 1,17 % меньше от подвижности спермиев у животных с неуравновешенной нервной системой, на 7,36 % меньше ($P < 0,01$) физиологической подвижности свежеполученных спермиев у инертной нервной системы и на 9,71 % меньше активности спермиев котов с темпераментом сангвиник. Наибольшая концентрация спермиев была у котов живого гендерного темперамента, что на 3,02 млн/мл ($P < 0,05$) больше аналогичного показателя у котов безудержного типа темперамента, на 43,09 и 56,74 млн/мл ($P < 0,01$) больше, чем у котов спокойного и слабого гендерного темперамента соответственно. Подвижность спермиев после оттаивания была выше у котов инертного темперамента, что на 5,06 % больше ($P < 0,01$) значений показателя у котов подвижного темперамента и со слабой нервной системой и на 9,1 % больше ($P < 0,001$), чем у неуравновешенных котов. Переживаемость половых клеток котов российской селекции при температуре 38 °С после размораживания была наибольшей у котов живого гендерного темперамента, что на 0,22 ч больше, чем у животных спокойного гендерного темперамента, и больше на 0,62 и 0,91 ч ($P < 0,01$) по сравнению с показателем котов слабого и безудержного гендерного темперамента соответственно.

© Петряева А.В., Ткачев А.В., Ткачева О.Л., 2023

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

Ключевые слова: гендерный темперамент, домашний кот, физиология, эякулят, криоконсервирование, *Felis catus*

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

История статьи: поступила в редакцию 5 февраля 2023 г., принята к публикации 20 марта 2023 г.

Для цитирования: Петряева А.В., Ткачев А.В., Ткачева О.Л. Влияние типа высшей нервной деятельности на физиологические особенности спермы котов российской селекции // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 222—229. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-222-229

Influence of the type of higher nervous activity on seminal physiological characteristics in cats of Russian breeds

Alina V. Petryaeva¹, Aleksandr V. Tkachev^{1,2*}, Olga L. Tkacheva²,

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

*sasha_sashaola@mail.ru

Abstract. Temperament has a significant impact on reproductive function. Most studies are devoted to temperament as a mental characteristic, and the sexual temperament of cats and its influence on physiological characteristics of sperm have not been studied at all. The aim of the research was to study physiological features of reproductive function in cats of Russian breeds depending on sexual temperament. The experiments were carried out in Moscow and the Moscow region from 2019 to 2022. The study used 21 breeding mature cats aged 2 to 8 years, which belonged to 5 different Russian breeds (Bengal breed — 5 cats, British shorthair — 5 cats, Siberian breed — 6 cats, Maine Coon — 5 cats, Sphinx — 5 cats). The sexual temperament of cats was determined according to our methodology developed on the basis of modification of the method for determining the sexual temperament for stallions. Mobility of native sperm was the lowest in cats with a weak nervous system, which is 1.17 % less than mobility of sperm in animals with an unbalanced nervous system, 7.36 % less ($P < 0.01$) compared to physiological mobility of newly acquired sperm in an inert nervous system and 9.71 % less than activity of sperm in cats with a sanguine temperament. The highest concentration of sperm was in cats with live sexual temperament, which was 3.02 million/ml more ($P < 0.05$) than in cats with unrestrained type of temperament, 43.09 million/ml more ($P < 0.01$) than in cats with calm sexual temperament and 56.74 million/ml more ($P < 0.01$) than in cats with weak sexual temperament. Sperm motility after thawing was higher in cats with inert temperament, which was 5.06 % more ($P < 0.01$) compared to cats with mobile temperament and weak nervous system and 9.1 % more ($P < 0.001$) than in unbalanced cats. Survivability of germ cells in Russian cats at 38 °C after defrosting was greatest in live sexual temperament cats, which was 0.22 hours more in comparison with calm sexual temperament cats, 0.62 hours more ($P < 0.01$) than in cats with weak sexual temperament and 0.91 hours more than in cats with unrestrained sexual temperament.

Keywords: sexual temperament, domestic cat, physiology, ejaculate, cryopreservation, *Felis catus*

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

Article history: Received: 5 February 2023. Accepted: 20 March 2023.

For citation: Petryaeva AV, Tkachev AV, Tkacheva OL. Influence of the type of higher nervous activity on seminal physiological characteristics in cats of Russian breeds. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;18(2):222—229. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-222-229

Введение

Известно, что тип высшей нервной деятельности (темперамент) оказывает существенное влияние на репродуктивную функцию [1]. Необходимость определения темперамента животных было доказано еще в середине XX в. исследованиями В.К. Милованова, В.Н. Карлова, Г.В. Паршутина, Д.В. Нагаева и Л.М. Соколовой. Мы обратили внимание на тот факт, что в современной физиологии котов недостаточно внимания уделяется изучению типа высшей нервной деятельности и его влияния на физиологические особенности эякулятов котов до и после замораживания, подобные научные статьи в России носят спорадический характер и преимущественно касаются диких кошачьих [2, 3].

Несмотря на то, что *Felis catus* являются популярными домашними животными, число научных исследований, связанных с этим биологическим видом, обычно невелико и значительно ниже, исследований собак. Еще меньше изучен темперамент котов — область, которая в последнее время вызывает все больший интерес у исследователей [4]. Несмотря на рост интереса к психическому функционированию кошек, остается еще много вопросов. Например, как темперамент влияет на их познавательные процессы и эффективность воспроизводства? Ответы на эти вопросы могут улучшить практику ухода за кошками и их разведения.

Другими словами, понимание когнитивных процессов и темперамента *Felis catus* может способствовать сокращению числа отказов хозяев от своих животных и случаев эвтаназии, к которой могут прибегать по причинам неудовлетворенности людей особенностями поведения их питомцев [5].

Известно, что активизация гендерной активности у домашних котов наступает через некоторое время после попадания сперматозоидов в семенные каналцы, обычно между 9 и 12 месяцами [6]. Однако в дикой природе у котов этот процесс может задерживаться до 18-месячного возраста. После гендерного созревания домашние коты обычно считаются полигамными, плодовитыми и сексуально активными в течение всего года; однако исследования показывают, что и у них есть половая цикличность. Цикл сексуальной активности достигает пика весной, что соответствует активизации гендерной функции кошек [7, 8].

По данным Travnik et al. и Stelow et al. в период с 1986 по 2013 г. в мире было опубликовано не более 17 оригинальных исследовательских работ о темпераменте кошек; с 2015 по 2020 г. опубликовано около 40 статей по темпераменту кошек, котов, диких кошачьих [9, 10]. Однако все эти публикации были посвящены темпераменту как психической характеристике и совершенно не изучался гендерный темперамент котов и его влияние на физиологические характеристики спермы

Цель исследования — изучить физиологические особенности репродуктивной функции котов российской селекции в зависимости от гендерного темперамента.

Материал и методы исследований

Исследование выполняли с 2019 по 2022 гг. в Москве и Московской области на 21 животном — племенных половозрелых котах в возрасте от 2 до 8 лет, принадлежавших к 5 породам российской селекции: по 5 голов бенгальской, британской короткошерстной, мейн-кун и сфинкс и 6 голов сибирской породы. Тип высшей нервной деятельности (гендерный темперамент) котов определяли по разрабатываемой нами методике на основании модификации способа определения гендерного темперамента для жеребцов [11]. Образцы спермы были собраны у каждого самца с использованием стандартизированной процедуры электроэякуляции. Электроэякуляцию осуществляли с помощью Electro Ejaculator e320 (Minitube, Tiefenbach, Germany) после введения ректального зонда диаметром 0,95 см [12].

Разбавление, охлаждение и криоконсервирование спермы *Felis catus* выполняли по модифицированной нами харьковской технологии [13] с применением разрабатываемого нами разбавителя, состав которого является коммерческой тайной. В свежеполученном и размороженном семени котов общепринятыми методиками [13] определяли: объем эякулята, см³, в стеклянной мерной пробирке; подвижность сперматозоидов, % (10 % соответствует 1 баллу половых клеток с прямолинейно-поступательным движением); патологические формы половых клеток, %, по визуальной технологии с применением светового микроскопирования Jenaval (Carl Zeiss, Германия) с зумом объектива 10–20×; концентрацию половых клеток, млн/мл, каждой пробы спермы с применением камеры Горяева; переживаемость половых клеток эякулята, ч, после размещения оттаянных проб семени в суховоздушный термостат 38 °С.

Математико-статистические расчеты результатов ветеринарно-физиологических исследований осуществляли по общепринятым формулам критерия Стьюдента в компьютерной программе SPSS for Windows (IBM, USA).

Результаты исследований и обсуждение

По итогам исследований установлено: среди котов российской селекции наибольший объем эякулята был от животных флегматичного типа нервной деятельности, что на 0,01 см³ больше, чем от котов со слабым типом нервных процессов, на 0,04 см³ больше, чем от сангвиников, и на 0,3 см³ больше, чем от котов с неуравновешенным типом нервной системы (табл.).

Согласно таблице, наилучшие показатели нативной и деконсервированной спермы были у котов живого и спокойного гендерного темперамента. Подвижность нативных спермиев была наименьшей у котов со слабой нервной системой, что на 1,17 % меньше от подвижности спермиев у животных с неуравновешенной нервной системой, на 7,36 % меньше ($P < 0,01$) физиологической подвижности свежеполученных спермиев от котов инертной нервной системы и на 9,71 % меньше активности спермиев от котов с темпераментом сангвиник.

Физиологические особенности нативной и деконсервированной спермы котов российской селекции

Показатель спермы	Тип высшей нервной деятельности			
	Слабый (меланхолик) (n = 69)	Сильный уравновешенный инертный (флегматик) (n=71)	Сильный уравновешенный подвижный (сангвиник) (n=85)	Сильный неуравновешенный безудержный (холерик) (n=67)
Свежеполученная сперма				
Объем эякулята, см ³	0,62 ± 0,02***	0,63 ± 0,01***	0,59 ± 0,01**	0,33 ± 0,09
Подвижность спермиев,%	53,91 ± 0,6	61,27 ± 0,44**	63,62 ± 0,51**	55,08 ± 1,22
Концентрация спермиев, млн/мл	251,64 ± 4,79***	265,29 ± 3,82**	308,38 ± 4,25*	305,36 ± 9,51
Патологические формы спермиев,%	28,54 ± 0,4**	28,32 ± 0,29**	30,13 ± 0,41*	37,8 ± 0,61
Деконсервированная сперма				
Подвижность спермиев,%	26,44 ± 0,64*	31,5 ± 0,59***	26,44 ± 0,64*	22,4 ± 0,7
Переживаемость спермиев при 38 °С, ч	2,73 ± 0,07*	3,13 ± 0,06***	3,35 ± 0,07***	2,44 ± 0,08

Примечание. *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001 в сравнении с безудержным половым темпераментом.

Physiological features of native and deconserved sperm of Russian cats

Sperm count	Type of higher nervous activity			
	Weak (melancholic) (n=69)	Strong balanced inert (phlegmatic) (n=71)	Strong balanced mobile (sanguine) (n=85)	Strong unbalanced unrestrained (choleric) (n=67)
Fresh sperm				
Ejaculate volume, cm ³	0.62 ± 0.02***	0.63 ± 0.01***	0.59 ± 0.01**	0.33 ± 0.09
Sperm motility,%	53.91 ± 0.6	61.27 ± 0.44**	63.62 ± 0.51**	55.08 ± 1.22
Sperm concentration, mln/ml	251.64 ± 4.79***	265.29 ± 3.82**	308.38 ± 4.25*	305.36 ± 9.51
Pathological forms of sperm,%	28.54 ± 0.4**	28.32 ± 0.29**	30.13 ± 0.41*	37.8 ± 0.61
Canned sperm				
Sperm motility,%	26.44 ± 0.64*	31.5 ± 0.59***	26.44 ± 0.64*	22.4 ± 0.7
Sperm survival at 38 °C, hours	2.73 ± 0.07*	3.13 ± 0.06***	3.35 ± 0.07***	2.44 ± 0.08

Note: *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001 in comparison to the headlong sexual temperament.

Важной физиологической характеристикой нативной спермы является концентрация половых клеток, мл, эякулята, так как при более высокой концентрации большее количество спермодоз можно подвергнуть криоконсервированию [2, 5]. Концентрация по всем эякулятам была от 80 до 420 млн/мл. Наибольшая концентрация спермиев была у котов живого гендерного темперамента, что на 3,02 млн/мл больше (P < 0,05), чем у животных безудержного типа темперамента, на 43,09 и на 56,74 млн/мл больше (P < 0,01), чем у котов спокойного и слабого гендерного темперамента соответственно.

Физиологические особенности количества патологических форм спермиев имеют большое значение для оценки функционального состояния репродуктивной функции в целом и характеристики завершенности сперматогенеза в частности [3, 8]. Как показали полученные нами данные, домашние коты как вид характеризуются высоким количеством патологических форм спермиев — более 25 % в среднем, что согласуется с данными зарубежных исследователей [6].

Наибольшее количество патологических форм спермиев установлено нами у котов с неуравновешенной нервной системой, что на 7,67 % больше ($P < 0,05$), чем у животных уравновешенного подвижного типа, на 9,48 и на 9,28 % больше ($P < 0,01$), чем у котов инертного темперамента и со слабой нервной системой соответственно. Полученные данные позволяют заключить, что для создания криобанков спермопродукции наиболее желательны коты спокойного, слабого и живого гендерного темперамента.

Для более объективной оценки физиологических особенностей и завершенности сперматогенеза были проведены исследования физиологической криорезистентности семени котов российской селекции в зависимости от гендерного темперамента.

Подвижность спермиев после оттаивания была наиболее высокой у котов инертного темперамента, что на 5,06 % больше ($P < 0,01$), чем показатель у животных подвижного темперамента и со слабой нервной системой, и на 9,1 % больше ($P < 0,001$), чем у неуравновешенных котов. Полученные данные позволяют утверждать, что физиологическая полноценность половых клеток котов российской селекции лучше у животных спокойного и живого гендерного темперамента.

Переживаемость половых клеток котов российской селекции при температуре 38 °С после размораживания была наибольшей у животных живого гендерного темперамента, что на 0,22, 0,62 и 0,91 ч ($P < 0,01$) больше показателей спокойного, слабого и безудержного гендерного темперамента соответственно.

Таким образом, нами показаны физиологические особенности нативной и деконсервированной спермы котов российской селекции в зависимости от гендерного темперамента и определено, что наиболее желательны для создания криобанков семени коты живого и спокойного гендерного темперамента.

Заключение

Впервые установлены физиологические особенности нативной и замороженно-оттаянной спермы котов российской селекции различного гендерного темперамента. Важнейшая физиологическая характеристика эякулятов — подвижность спермиев — была наилучшей у котов сангвиников и флегматиков, что соответственно на 7,36 и 9,71 % больше ($P < 0,01$), чем у особей со слабой нервной системой. Таким образом, для более эффективного создания криобанков генетического материала коты с гендерным темпераментом сангвиник и флегматик являются более желательными, так как высокая подвижность нативной спермы позволяет получить лучшую криорезистентность эякулятов. Наибольший процент патологических форм спермиев установлен у котов холериков 37,8 %; эта особенность будет способствовать

снижению криорезистентности и оплодотворяющей способности их эякулятов в дальнейшем, так как это количество спермиев изначально неспособно к оплодотворению яйцеклетки. Лучшая криорезистентность эякулятов котов сангвиников и флегматиков подтверждается тем, что переживаемость спермиев вне организма при температуре 38 °С составляет более 3 ч, что на 22...27 % больше ($P < 0,001$) выживаемости половых клеток неуравновешенного гендерного темперамента.

Библиографический список

1. Finka L.R., Ellis S.L.H., Stavisky J. A critically appraised topic (CAT) to compare the effects of single and multi-cat housing on physiological and behavioural measures of stress in domestic cats in confined environments // BMC Vet. Res. 2014. № 10. 73
2. Амстиславский С.Я., Брусенцев Е.Ю., Мокроусова В.И., Кизилова Е.А., Кожевникова В.В., Напрумеров В.А., Рожкова И.Н. Криоконсервация эпидидимального семени домашнего кота // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(6). С. 646–650. doi: 10.18699/VJ17.281
3. Ивакина С.Р., Ткачев А.В. Физиологические особенности нативной спермы котов различных пород // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 328–332.
4. Vitale Shreve K.R., Udell M.A.R. What's inside your cat's head? A review of cat (*Felis silvestris catus*) cognition research past, present and future // Anim. Cogn. 2015. № 18. P. 1195–1206.
5. Meagher R.K. Observer ratings: Validity and value as a tool for animal welfare research // Appl. Anim. Behav. Sci. 2009. № 119. P. 1–14.
6. Koolhaas J.M., Korte S.M., De Boer S.F., Van Der Veegt B.J., Van Reenen C.G., Hopster H., De Jong I.C., Ruis M., Blokhuis H.J. Coping styles in animals: Current status in behavior and stress-physiology // Neurosci. Biobehav. Rev. 1999. № 23. P. 925–935.
7. Barratt D.G. Home range size, habitat utilisation and movement patterns of suburban and farm cats *Felis catus* // Ecography. 1997. № 20. P. 271–280.
8. Evans R., Lyons M., Brewer G., Tucci S. The purrfect match: The influence of personality on owner satisfaction with their domestic cat (*Felis silvestris catus*) // Pers. Individ. Differ. 2019. № 138. P. 252–256.
9. Stelow E.A., Bain M.J., Kass P.H.J. The relationship between coat color and aggressive behaviors in the domestic cat // J. Appl. Anim. Welf. Sci. 2016. № 19. P. 1–15.
10. Travnik I.C., Machado D.S., Gonzalves L.S., Ceballos M.C., Sant'Anna A.C. Temperament in Domestic Cats: A Review of Proximate Mechanisms, Methods of Assessment, Its Effects on Human — Cat Relationships, and One Welfare // Animals. 2020. № 10. P. 1516. doi: 10.3390/ani10091516
11. Ткачев О.В., Сушко О.Б. Спосіб визначення статевого темпераменту жеребців-плідників. Патент на полезну модель UKR UA 42530 U. № u 200900995; заявл. 09.02.2009.
12. Попов И.В., Аксенова П.В., Карташова Е.В., Попов И.В., Тихменева Ю.А., Ермаков А.М. Развернутый обзор применения метода электроэякуляции у различных видов животных // Ветеринарная патология. 2020. № 3(73). С. 3–15. doi: 10.25690/VETPAT.2020.11.99.001
13. Ткачев А.В., Евсюкова А.А., Фрундина А.Д. Эффективность модификации технологии криоконсервирования спермы жеребцов для замораживания эякулятов хряков // Инновационные решения в аграрной науке — взгляд в будущее: Материалы XXIII международной научно-производственной конференции, Майский, 28–29 мая 2019 г. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2019. Т. 2. С. 61–62.

References

1. Finka LR, Ellis SLH, Stavisky J. A critically appraised topic (CAT) to compare the effects of single and multi-cat housing on physiological and behavioural measures of stress in domestic cats in confined environments. BMC Vet. Res. 2014;10:73. doi: 10.1186/1746-6148-10-73
2. Amstislavsky SY, Brusentsev EY, Mokrousova VI, Kizilova EA, Kozhevnikova VV, Naprimerov VA, Rozhkova I.N. Cryopreservation of epididymal semen of domestic cat. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(6):646–650. (In Russ.). doi: 10.18699/VJ17.281
3. Ivakina SR, Tkachev AV. Physiological features of cats native sperm of different breeds. International Bulletin of Veterinary Medicine. 2021;(1):328–332. (In Russ.).

4. Vitale Shreve KR, Udell MAR. What's inside your cat's head? A review of cat (*Felis silvestris catus*) cognition research past, present and future. *Anim. Cogn.* 2015;18:1195–1206. doi: 10.1007/s10071–015–0897–6
5. Meagher RK. Observer ratings: Validity and value as a tool for animal welfare research. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 2009;119(1–2):1–14. doi: 10.1016/j.applanim.2009.02.026
6. Koolhaas JM, Korte SM, De Boer SF, Van Der Vegt BJ, Van Reenen CG, Hopster H, et al. Coping styles in animals: Current status in behavior and stress-physiology. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 1999;23(7):925–935. doi: 10.1016/S0149–7634(99)00026–3
7. Barratt DG. Home range size, habitat utilisation and movement patterns of suburban and farm cats *Felis catus*. *Ecography*.1997;20(3):271–280. doi: 10.1111/j.1600–0587.1997.tb00371.x
8. Evans R, Lyons M, Brewer G, Tucci S. The purrfect match: The influence of personality on owner satisfaction with their domestic cat (*Felis silvestris catus*). *Pers. Individ. Differ.* 2019;138:252–256. doi: 10.1016/j.paid.2018.10.011
9. Stelow EA, Bain MJ, Kass PHJ. The relationship between coat color and aggressive behaviors in the domestic cat. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.* 2016;19(1):1–15. doi: 10.1080/10888705.2015.1081820
10. Travnik IC, Machado DS, Gonçalves LS, Ceballos MC, Sant' Anna AC. Temperament in Domestic Cats: A Review of Proximate Mechanisms, Methods of Assessment, Its Effects on Human-Cat Relationships, and One Welfare. *Animals*. 2020;10(9):1516. doi: 10.3390/ani10091516
11. Tkachev AV, Sushko AB. *Sposob opredeleniya polovogo temperamenta zherebtsov-proizvoditelei* [Method for determining the sexual temperament of breeding stallions]. Patent, UA no. 200900995, 2009. (In Ukr.).
12. Popov IV, Aksenova PV, Kartashova EV, Kryshstop EA, Popov IV, Tikhmeneva JA, Ermakov AM. Electrojaculation: history, physiology and prospects. *Veterinary Pathology*. 2020;(3):3–15. (In Russ.). doi: 10.25690/VETPAT.2020.11.99.001
13. Tkachev AV, Evsyukova AA., Frundina AD. Efficiency of modification of technology of cryopreservation of sperm of stallions for freezing of ejaculates of boars. *Innovative solutions in agrarian science — a look into the future: conference proceedings. Volume 2*. Maysky; 2019. p.61–62. (In Russ.).

Об авторах:

Петряева Алина Вадимовна — педагог дополнительного образования кафедры общеобразовательных дисциплин, институт русского языка, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: petryaeva-av@rudn.ru
ORCID: 0000–0002–9815–4029

Ткачев Александр Владимирович — доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Технологический колледж, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 14, стр. 6; доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: sasha_sashaola@mail.ru
ORCID: 0000–0002–7721–5742

Ткачева Ольга Леонидовна — кандидат сельскохозяйственных наук, преподаватель Технологического колледжа, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 127434, Российская Федерация, г. Москва, Прянишникова, д. 14, стр. 6; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com
ORCID: 0000–0002–5573–6117

About authors:

Petryaeva Alina Vadimovna — additional education teacher, Department of General Education disciplines, Institute of the Russian Language, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: krotova-ea@rudn.ru
ORCID: 0000–0002–9815–4029

Tkachev Aleksandr Vladimirovich — Doctor of Agricultural Sciences, Senior researcher, Lecturer, Technological College, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 14/6 Pryanishnikova st., Moscow, 127434, Russian Federation; Associate Professor; Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: sasha_sashaola@mail.ru
ORCID: 0000–0002–7721–5742

Tkacheva Olga Leonidovna — Candidate of Agricultural Sciences, Lecturer, Technological College, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 14/6 Pryanishnikova st., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: tkacheva.olga2017@gmail.com
ORCID: 0000–0002–5573–6117



Ветеринария Veterinary science


DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-230-241

EDN QLOASW

UDC 636.32/.38:577.125:661.691.1:619

Research article / Научная статья

Nano-Selenium-Mediated Alterations in Lipid Profile, Liver and Renal Functions, and Protein Parameters in Male Lambs: An Experimental Study

Karwan A.H. Aljaf^{1,2}  , Marina N. Bolshakova¹ ¹RUDN University, Moscow, Russian Federation²Cihan University-Sulaimaniya, Sulaimaniya, Iraq karwan.anwar@garmian.edu.krd

Abstract. The impact of nano-selenium supplementation on lipid metabolism, liver enzymes, renal function, and protein levels in male lambs was investigated in this study during a 60-day period. Lambs were divided into two groups — control and experimental, which were administered nanoselenium orally at a dosage of 0.5 mg/kg of feed once a day, daily. Each group consisted of five male lambs. According to the findings, cholesterol levels dropped significantly at days 45 ($P < 0.01$) and 60 ($P < 0.05$), whereas triglyceride levels significantly rose at days 15 and 30 ($P < 0.01$). Throughout the trial, the levels of uric acid and creatinine were constant. At days 15 and 60, aspartate aminotransferase (AST) levels were significantly decreased ($P < 0.05$), while at days 45 and 60, alkaline phosphatase (ALP) levels declined ($P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively). At days 15 and 30, albumin levels dropped significantly (0.05), but day 60 saw an increase in globulin levels significantly ($P < 0.05$). The drop in AST and ALP levels might be a sign that liver function has possibly improved. However, the drop in albumin levels and rise in globulin levels raise the possibility that taking nano-selenium supplements may affect how proteins are metabolized. The findings of this study concluded that the effects of nano-selenium supplementation on lipid metabolism, liver enzymes, renal function, and protein levels in male lambs were time-dependent. In addition to possible improvements in liver function based on decreased AST and ALP levels and changes in albumin and globulin levels, the study also noticed an initial transient increase in triglyceride levels that was followed by a decline in cholesterol levels. To determine the time-dependent changes in liver

© Aljaf K.A.H., Bolshakova M.N., 2023

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

function, liver enzymes, as well as renal function in response to nano-selenium supplementation in male lambs was objective of this study.

Key words: lipid metabolism, liver enzymes, protein levels, aspartate aminotransferase, alkaline phosphatase

Conflict of Interests. Authors declare that there is no conflict of interest.

Acknowledgement. Funding. The authors would like to thank AL-JAF Khoshi Anwer Hasan for reading a draft of the paper and checking the works from linguistic perspective.

Article history: Received: 24 April 2023. Accepted: 26 May 2023.

For citation: Aljaf KAH, Bolshakova MN. Nano-selenium-mediated alterations in lipid profile, liver and renal functions, and protein parameters in male lambs: an experimental study. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):230—240. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-230-240

Introduction

In recent years, interest in nano-selenium, a type of selenium with smaller particle size, has grown due to its possible health advantages. The vital trace mineral selenium is needed for several physiological processes, including liver and kidney function. Scientific study and examination have been conducted on the impact of utilizing nano-selenium on renal function, liver enzyme levels, and function [1]. Supplementing with nano-selenium might benefit liver health. Glutathione peroxidase, an antioxidant enzyme that aids in preventing oxidative stress and damage to liver cells, is largely composed of selenium. According to studies, nano-selenium increases the activity of glutathione peroxidase, which may aid in lowering the levels of liver enzymes like alkaline phosphatase (ALP), alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST), which are indicators of liver damage. Furthermore, it has been demonstrated that nano-selenium possesses anti-inflammatory effects, which could help lessen liver inflammation and enhance liver function [2]. The possible impact of nano-selenium on renal function has also been researched. Selenium is known to play a role in the control of kidney function, and nano-selenium has been found to have protective effects on the kidneys. Various animal models have demonstrated that supplementing with nano-selenium may assist enhance renal function by lowering oxidative stress and inflammation in the kidneys, enhancing antioxidant status, and minimizing kidney damage [3]. A form of fat called cholesterol is necessary for many physiological functions, but too much of it can be detrimental, especially when the level of low-density lipoprotein (LDL), commonly referred to as “bad” cholesterol, is high. High-density lipoprotein (HDL), also known as “good” cholesterol, has an anti-heart disease protective effect. Another form of fat that can be increased in the blood and increase the risk of cardiovascular disease is triglycerides. Triglycerides are carried in blood by a kind of lipoprotein called very low-density lipoprotein (VLDL) [4]. Supplementing with nanoselenium may help to improve lipid profiles. Nano-selenium supplementation has been shown to increase HDL cholesterol levels while decreasing total cholesterol, LDL cholesterol, and triglyceride levels in both animal and human studies. It has been proposed that nano-selenium has

antioxidant properties that can aid in the prevention of lipid peroxidation, a process that harms lipids and aids in the emergence of cardiovascular diseases. Additionally, it has been demonstrated that nano-selenium alters the expression of genes involved in lipid metabolism, which may strengthen the lipid-lowering effects of the substance [5]. The evidence for nano-selenium's effects on protein metabolism is sparse and ambiguous. Supplementing with nanoselenium may improve levels of proteins, especially albumin. The liver produces albumin, which is the most prevalent protein in blood. It is essential for maintaining oncotic pressure and moving different substances through the blood, such as hormones and medications. An improvement in liver function and protein synthesis may be indicated by an increase in albumin levels after taking nano-selenium supplements. On the other hand, it is less certain how nano-selenium affects globulins, a different class of blood proteins. Immune function involves the use of globulins [6]. The effects of nano-selenium on renal function and liver function and enzyme levels, however, may differ depending on the dosage, length of supplementation, and individual characteristics like age, health status, and underlying medical disorders. To completely comprehend the mechanisms and recommended dosages of nano-selenium for the health of the liver and kidneys, more research is required. The study aimed to investigate the impact of nano-selenium on liver and renal function in different period of time.

Materials and Methods

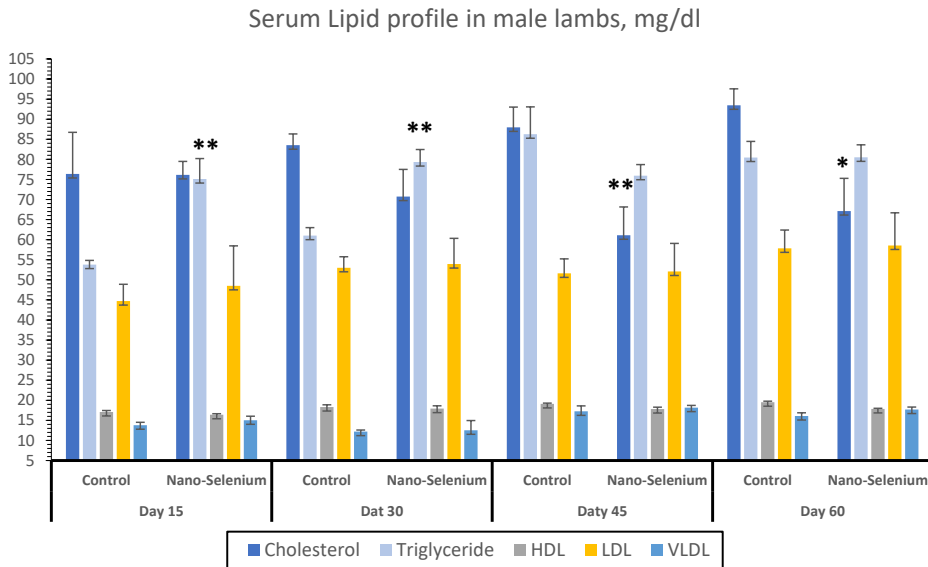
Twenty 3- to 4-month-old male Karadi lambs were divided into two groups. Each lamb had its own cage and was fed separately. The broadcast was made in a special facility in Sulaymaniyah, in the Iraqi Kurdistan area. The second group received a capsule containing 0.5 mg of nano-selenium, whereas the first group acted as the control. To encourage maintenance and daily benefit, food was provided once per day at 9:00 a.m. in portions estimated to be 3% of live body weight (LBW). Every day in the morning, after eating, the capsules were administered through gavage tube within two hours. The China-based Wuhan Dongxin Mill Imp and Exp Trade Co, Ltd was the source of the Nano-selenium particles employed in this investigation. These particles were kept in a dry, contained space and have a purity level of 99.99%. They are a black powder. At the central lab of Bagdad University's College of Education for Pure Science/Ibn Alhaitham, a sample of the Nano-selenium particles, weighing roughly 2–3 gm, was examined using X-Ray Diffraction to guarantee their quality. The crystal structure and the relative intensities of each peak were revealed by the X-Ray Diffraction pattern, which was acquired in the angular range of $2\theta = 10^\circ - 140^\circ$. To verify the accuracy of the study outcomes, this data was used for hypothetical calculations and comparison with global parameters. Every 15 days, blood samples were taken from the jugular vein using a disposable needle. About 6 cc of blood were collected and put in a special gel tube to make serum. Using cobas e 311 (Roche, Germany), biomedical parameters like liver enzyme levels, total protein, albumin, globulins, triglycerides, and cholesterol were assessed in serum. P-nitrophenyl phosphate is broken down by the enzyme phosphatase into two different forms of phosphoric acid, p-nitrophenol, in the presence of magnesium and zinc ions.

The amount of p-nitrophenol produced varies in direct proportion to ALP's catalytic activity. Use the increased absorbance to calculate. The kit was a Gundersen ALP2S one. Alanine aminotransferase (ALT) in serum and plasma is quantitatively evaluated in vitro. ALT catalyzes the reaction between L-alanine and 2-oxoglutarate. In a process facilitated by lactate dehydrogenase (LDH), NADH lowers the pyruvate to L-lactate and NAD⁺. The behavior of the catalytic ALT is inversely correlated with the rate of NADH oxidation. The calculation is based on the decrease in absorbance [7]. Divalent copper can form a purple-colored biuret complex with protein peptide bonds in an alkaline solution for the colorimetric measurement of total protein, albumin, and globulin, respectively. Potassium iodide inhibits copper auto-reduction while sodium potassium tartrate inhibits the production of copper hydroxide. It is possible to measure photometrically how closely the protein concentration correlates with the biuret complex's color intensity. Albumin's cationic nature at pH 4.1 enables it to combine with the anionic dye bromocresol green (BCG), resulting in the formation of a blue-green complex. Albumin levels can be determined photometrically by measuring the intensity of the blue-green color, which is directly proportional to the amount of albumin in the sample [8]. The enzyme cholesterol esterase breaks down cholesterol esters to produce free cholesterol and fatty acids. The subsequent oxidation of cholesterol to cholest-4-en-3-one and hydrogen peroxide is catalyzed by cholesterol oxidase. A red quinone-imine dye is created when phenol and 4 aminophenazone undergo an oxidative coupling in the presence of peroxidase. The relationship between the cholesterol concentration and the dye's color intensity is direct. The rise in absorbance is measured to ascertain it. Triglycerides are three long-chain fatty acid esters of the trihydric alcohol glycerol. They are partially produced in the liver and partially taken in from meals. Triglyceride measurements are used to diagnose and treat individuals with diabetes mellitus, nephrosis, liver obstruction, problems of lipid metabolism, and a variety of other endocrine diseases. The Eggstein and Kreutz enzymatic triglycerides assay still required saponification with potassium hydroxide. Thereafter, lipase was used in numerous attempts to replace alkaline saponification by enzymatic hydrolysis. Wahlefeld employed an esterase from the liver in conjunction with a very efficient lipase from *Rhizopus arrhizus* for hydrolysis. Bucolo and David investigated a lipase/protease cocktail [9].

Results and Discussions

Orally administered nano-selenium had no discernible impact on serum cholesterol levels at days 15 and 30, however the level was lower in the nano-selenium groups (fig. 1). While cholesterol levels considerably dropped at days 45 and 60 ($p < 0.01$), respectively, this indicates that the effects of nano-selenium on cholesterol take time to manifest. The results of this investigation were in agreement with those of several other studies in terms of the nano-selenium lipid profile (cholesterol, high density lipoprotein, low density lipoprotein, and very low-density lipoprotein). According to reports, the amount of nano-selenium supplementation had no appreciable impact on the blood biochemistry of sheep, including the amounts of cholesterol, HDL, and triglycerides [10]. However,

on days 15 and 30 of this trial, triglyceride levels dramatically increased ($p < 0.01$). Triglyceride levels may rise as a result of using the gut’s and intestine’s functions to enhance or increase food intake and diet digestion [11].



Note: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. Indicates significant differences with the control group.

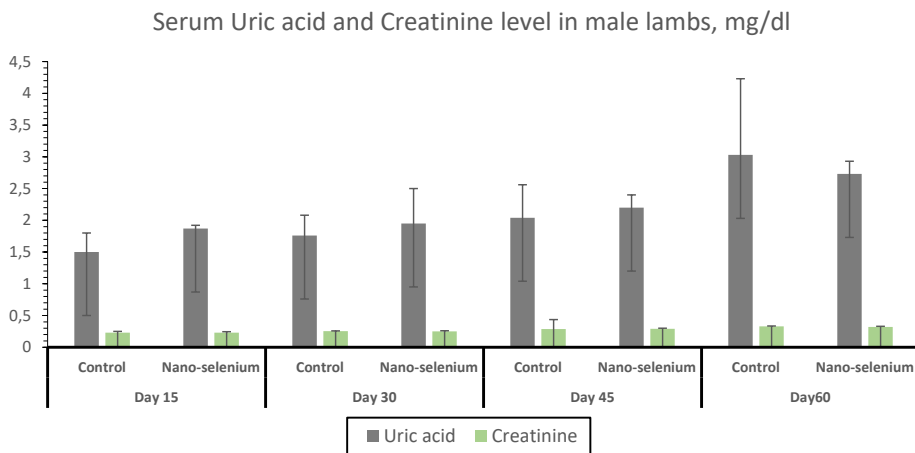
Fig. 1. Serum lipid profile for male lambs orally administrated with Nano-selenium. The table representate mean \pm standard deviation, mg/dl

Source: made by the authors

As demonstrated in figure 2, the effect of nano-selenium on the level of serum creatinine and uric acid was not substantially different from the control group, but there was a minor spike in both parameters. However, prior studies claimed that nano-selenium had no effect on serum biochemical markers in hens and rats, which is agreed with this study. There are also fewer studies about the effects of nano-selenium on lambs, but some studies show that dietary nano-selenium supplements led to a decrease in the level of serum uric acid in chicken, which is beneficial of positive effect on renal health [12]. In this investigation, there were no negative effects on the levels of serum uric acid and creatinine in male lambs, allowing researchers to conclude that nano-selenium at dosages of 0.5 mg/kg body weight is safe for renal health and can be utilized as a dietary supplement in ruminants.

The impact of nano-selenium on the liver enzymes of farm fish and rats has been adequately studied. According to studies done on fish, nano-selenium had no impact on the liver enzymes ALP, ALT, and AST. In additional experiments using mice, the effects of nano-selenium (Nano-Se) on liver function markers were compared to those of inorganic and organic selenium. Abnormal liver function was more noticeable with selenite administration than with Nano-Se, as seen by an increase in the serum level of the hepatotoxic marker. In the case of Nano-Se, after being treated with various forms of selenium, enzyme activity increased dramatically [13, 14]. In dairy cows, selenium

supplementation, particularly nano selenium, significantly decreased blood alkaline phosphatase and aspartate amino transferase activity [15]. The results of this study were generally supported by studies; however, nano-selenium reduced the levels of AST and ALP in the serum on day 45 ($P < 0.01$ and $P < 0.05$, respectively). According to earlier studies, the ranges of the liver enzymes mentioned in the current study were within normal limits [16, 17]. Our findings suggest that nano-selenium has no effect on liver damage or a bone condition, whereas decreasing the level of ALP implies malnutrition or a zinc shortage (fig. 3). The lambs utilized in this investigation were healthy and in good shape; their teeth and bones did not show any signs of abnormality. The highest concentrations of AST are found in the liver and muscle, and they are mostly utilized to indicate whether the liver is functioning normally or whether it is ill or damaged [18].



Note: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$. Indicates significant differences with the control group.

Fig. 2. Renal functions tests (Uric acid and creatinine) for male lambs orally administrated with Nano-selenium. The table representate mean \pm standard deviation, mg/dl

Source: made by the authors

Numerous proteins disintegrate in the plasma. By examining the levels of these proteins, the doctor can gain knowledge about the health status in various organ systems. Serum, the liquid that remains after plasma clots, removing fibrinogen and the bulk of clotting factors, is used to evaluate protein levels. The amount of total protein in a sample can reveal some details about the general health of a patient, but fractionating the total protein results in more therapeutically relevant information [19].

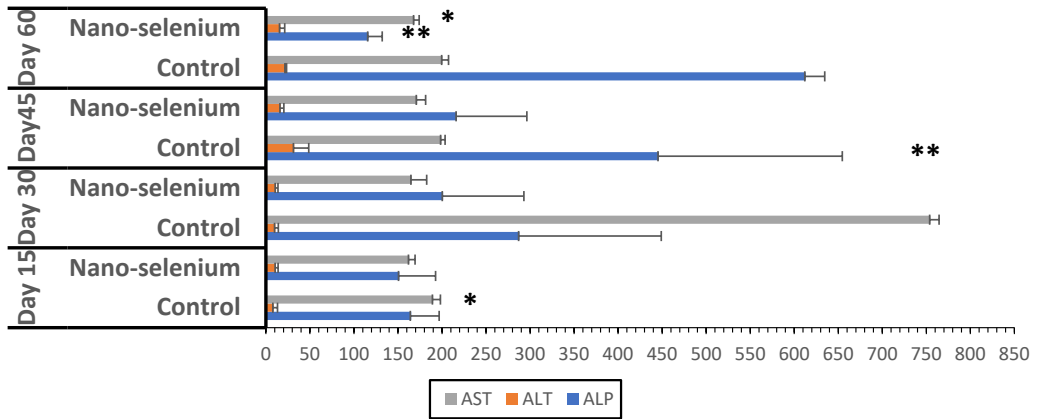
Nearly half of the serum's total protein content is made up of albumin. Between 30 and 40 percent of the body's total albumin pool is present in the intravascular compartment. The remainder is extravascular and is primarily located in the skin and muscle interstices. A number of human tissue fluids, including saliva, tears, gastric juice, and bile, include albumin in traces [20, 21]. Albumin is produced in the liver. Less than half of the liver's typical capability is used to produce albumin. Albumin production is significantly

influenced by dietary protein and amino acid intake, colloidal osmotic pressure, the action of certain hormones, and disease states. Fasting or a protein-poor diet reduce albumin production so long as the deficit situation persists [19, 20, 22]. The liver increases albumin synthesis after every protein-rich meal in response to the increased supply of amino acids brought by the portal blood. The globulin fraction contains hundreds of serum proteins, including carrier proteins, enzymes, complement, and immunoglobulins. With the exception of immunoglobulins, which are produced by plasma cells, the majority of them are produced in the liver. Using electrophoresis, globulins are divided into four groups [23, 22]. Although there may also be an increase in other proteins in pathological conditions with distinct electrophoretic patterns, increases in the globulin fraction are mostly caused by increases in immunoglobulins. Malnutrition and congenital immunodeficiency can lead to a decrease in total globulins due to decreased synthesis, while nephrotic syndrome can cause a decrease due to protein loss through the kidney [19, 21]. This study concentrated on the levels of serum total protein, albumin, and globulin for the estimate of liver function (fig. 4). On days 15 and 30, serum albumin levels in the nano-selenium groups declined significantly ($p < 0.05$), but on days 45 and 60, there was no significant decrease. The findings suggest that nano-selenium may affect how dietary amino acids are consumed or may have an immediate impact on liver function. With prolonged use, the body may attempt to adjust to nano-selenium. Serum globulin levels considerably rose ($p < 0.05$) on day 60, indicating that nano-selenium has a positive impact on immune system support, immunoglobulin synthesis, and complement system function. On day 60, the serum's total protein level increased, but not significantly ($p < 0.05$). Our findings were corroborated by previous investigations showing that food or nano-selenium supplementation increases total serum protein and globulin levels [24, 25].

Overall, the effect of every day administrated nano-selenium for 60 days had positive impact on the male lamb's health and improved the immune system through elevating the amount of globulin in serum. In addition, there was no negative effect on liver and renal functions.

Conclusion

From our results, it could be concluded that Nano-selenium is effective in increasing different biochemical parameters, liver activities, and immune system in male lambs. Nano-selenium has increasing effect on triglyceride levels in the serum, its effect appears after 15 days of orally exposure 0.5 mg/kg of feed intake. There are no any adverse effects of nano-selenium on the renal functions, the level of uric acid and creatinine were no changed significantly. The effect of used nano-selenium on ALP and AST was estimated and the level of those enzymes were reduced significantly used 0.5 mg/kg of daily food intake. Nano-selenium has decreasing effect on serum albumin on days 15 and 30 but increasing impact on globulin that means nano-selenium has acute effect on liver function or metabolism and decreasing effect on albumin may led to blood or plasma lick out from blood vesicles but can support immune system by increasing globulin.

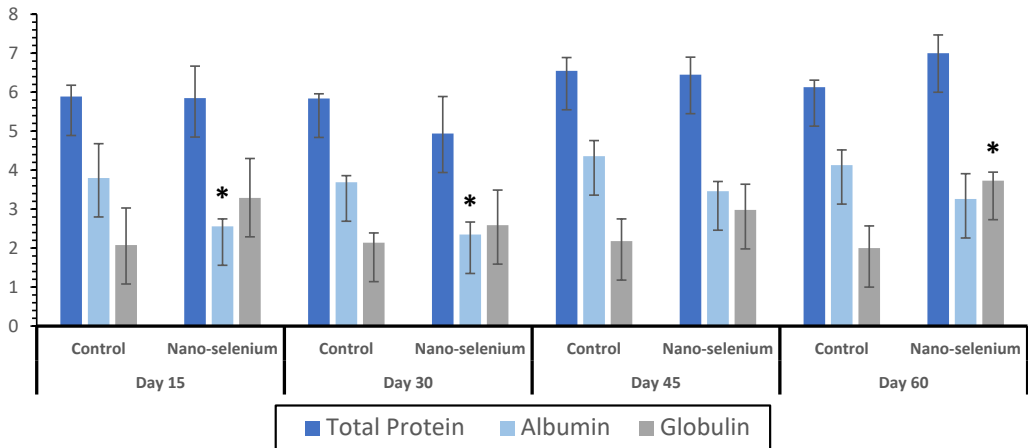


Note: *P < 0.05, **P < 0.01. Indicates significant differences with the control group.

Fig. 3. Liver enzyme tests (ALP, ALT and AST) for male lambs orally administrated with Nano-selenium. The table representate mean ± standard deviation, U/L

Source: made by the authors

Serum total protein, Albumin and Globulin level in male lambs, g/dl



Note: *P < 0.05, **P < 0.01. Indicates significant differences with the control group.

Fig. 4. Liver function tests (total protein, albumin and globulin) for male lambs orally administrated with Nano-selenium. The table representate mean ± standard deviation, g/dl

Source: made by the authors

References

1. Lall S, Milley J. Trace mineral requirements of fish and crustaceans. In: Schlegel P, Durososy S, Jongbloed AW. (eds.) *Trace elements in animal production systems*. Wageningen Acad. Publ.; 2008. p.203–214. doi: 10.3920/978-90-8686-638-0
2. Ringuet MT, Hunne B, Lenz M, Bravo DM, Furness JB. Analysis of bioavailability and induction of glutathione peroxidase by dietary nanoelemental, organic and inorganic selenium. *Nutrients*. 2021;13(4):1073. doi: 10.3390/nu13041073
3. Ge J, Liu LL, Cui ZG, Talukder M, Lv MW, Li JY, et al. Comparative study on protective effect of different selenium sources against cadmium-induced nephrotoxicity via regulating the transcriptions of selenoproteome. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;215:112135. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112135
4. Onwe PE, Folawiyi MA, Okike PI, Balogun ME, Umahi G, Besong EE, et al. Lipid profile and the growing concern on lipid related diseases. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSJPBS)*. 2015;10(5):22–27.
5. Safdari-Rostamabad M, Hosseini-Vashan SJ, Perai AH, Sarir H. Nanoselenium supplementation of heat-stressed broilers: effects on performance, carcass characteristics, blood metabolites, immune response, antioxidant status, and jejunal morphology. *Biological Trace Element Research*. 2017;178:105–116. doi: 10.1007/s12011-016-0899-5
6. Surai PF, Kochish II. Food for thought: nano-selenium in poultry nutrition and health. *Animal Health Research Reviews*. 2020;21(2):103–107. doi: 10.1017/S1466252320000183
7. Abdou RH, Sayed N. Antioxidant and anti-inflammatory effects of nano-selenium against cypermethrin-induced liver toxicity. *CellBio*. 2019;8(4):53–65. doi: 10.4236/cellbio.2019.84004
8. Trefz F, Lorenz I, Constable P. Evaluation of a portable ion-selective electrode meter for measuring potassium concentrations in whole blood and plasma of calves. *The Veterinary Journal*. 2018;238:10–14. doi: 10.1016/j.tvjl.2018.06.004
9. Tang Tsana CD, Sadeu Wafeu G, Ama Moor VJ, Edinga-Melengue BE, Nkeck JR, Nguefack-Tsague G. Validation of lipid profile measurement methods and establishment of reference values in a sub-Saharan African population. *Lipids*. 2022;57(4–5):233–240. doi: 10.1002/lipd.12350
10. Qin F, Chen F, Zhao FH, Jin TM, Ma J. Effects of Nanoselenium on Blood Biochemistry, Liver Antioxidant Activity and GPx-1 mRNA Expression in Rabbits. In: *Proceedings of the 2016 International Conference on Biomedical and Biological Engineering*. Atlantis Press; 2016. p.166–171. doi: 10.2991/bbe-16.2016
11. Mahmoud HED, Ijiri D, Ebeid TA, Ohtsuka A. Effects of dietary nano-selenium supplementation on growth performance, antioxidative status, and immunity in broiler chickens under thermoneutral and high ambient temperature conditions. *The Journal of Poultry Science*. 2016;53(4):274–283. doi: 10.2141/jpsa.0150133
12. Liu H, Yu Q, Fang C, Chen S, Tang X, Ajuwon KM, et al. Effect of selenium source and level on performance, egg quality, egg selenium content, and serum biochemical parameters in laying hens. *Foods*. 2020;9(1):68. doi: 10.3390/foods9010068
13. Bhattacharjee A, Basu A, Bhattacharya S. Selenium nanoparticles are less toxic than inorganic and organic selenium to mice in vivo. *The Nucleus*. 2019;62(3):259–268. doi: 10.1007/s13237-019-00303-1
14. Neamat-Allah ANF, Mahmoud EA, Abd El Hakim Y. Efficacy of dietary Nano-selenium on growth, immune response, antioxidant, transcriptomic profile and resistance of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* against *Streptococcus iniae* infection. *Fish & Shellfish Immunology*. 2019;94:280–287. doi: 10.1016/j.fsi.2019.09.019
15. Najaf Nejad B, Ali Arabi H, Tabatabaee M, Tagi Zadeh A, Alipoor D, Zaboli K. Effects of different sources of selenium on some hematological parameters and antioxidant response in Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science Research*. 2016;26(2):45–57.
16. Al-Hadithy H, Badawi N, Mahmood Alani MM. Estimation of Serum Liver Enzymes Activities in Awassi Sheep. *Iraqi Journal of Veterinary Medicine*. 2013;37(1):115–120. doi: 10.30539/iraqijvm.v37i1.343
17. Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML (eds.) *Clinical biochemistry of domestic animals*. Academic press; 2008.
18. Alemu P, Forsyth GW, Searcy GP. A comparison of parameters used to assess liver damage in sheep treated with carbon tetrachloride. *Can. J. Comp. Med.* 1977;41(4):420–427.
19. Irfan IZ, Esfandiari A, Choliq C. Profile of total protein, albumin, globulin and albumin globulin ratio in bulls. *Jurnal ilmu Ternak dan Veteriner*. 2014;19(2):123–129. doi: 10.14334/jitv.v19i2.1040
20. Khairita L. *Profil Metabolik Bibit Sapi Aceh*. IPB University; 2021.
21. Yudiarti T, Yudianto VD, Widiastuti E. Level of totally plasma protein and heterophil-lymphocyte ratio of native chicken due to the addition of fungal probiotic *Rhizopus oryzae* in the ration. In: *Seminar Nasional Peternakan Berkelanjutan*. Indonesia: Universitas Padjajaran; 2015. p.288–291.

22. Utomo WT, Suarsana IN, Suartini I. Karakteristik protein plasma sapi bali. *Jurnal Veteriner* 2017;18(2):232–238.

23. Khairita L, Esfandiari A, Widhyari SD, Winarsih W. The effects of age on biochemistry profiles of aceh cattle blood. *Jurnal Kedokteran Hewan*. 2021;15(3):103–107. doi: 10.21157/j.ked.hewan.v15i3.21698

24. Ibrahim E, Mohamed M. Effect of different dietary selenium sources supplementation on nutrient digestibility, productive performance and some serum biochemical indices in sheep. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*. 2018;21(1):53–64. doi: 10.21608/ejnf.2018.75398

25. Salam AY, EL-Shamaa IS, Metwally AM, El Hewaty AY, Mahmoud TA, Zommara MA. Effect of Selenium Administration on Reproductive Outcome and Biochemical Parameters to Ewes and their Lambs. *Journal of Animal and Poultry Production*. 2021;12(12):379–386.

About authors:

Aljaf Karwan Anwar Hassan — Ph.D. student, Assistant lecturer, Department of Veterinary Medicine, Agricultural and Technological Institute, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Medical Laboratory Analysis, Cihan University-Sulaimaniya, Sulaimaniya, Iraq; e-mail: karwan.anwar@garmian.edu.krd

ORCID: 0000-0001-8522-6639

Bolshakova Marina Nikolaevna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: bolshakova-mv@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-4553-7974 SPIN: 9428-4046

Влияние наноселена на изменения липидного профиля, функций печени и почек, белковых параметров у ягнят-самцов: экспериментальное исследование

К.А.Х. Альджаф^{1,2}  , М.Н. Большакова² 

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

²Университет Джихан — Сулеймания, г. Сулеймания, Ирак

*karwan.anwar@garmian.edu.krd

Аннотация. В исследовании на протяжении 60 дней изучалось влияние добавок наноселена на липидный обмен, ферменты печени, функцию почек и уровень белка у ягнят-самцов. Ягнят разделили на две группы — контрольную и экспериментальную, которой вводили наноселен перорально в дозировке 0,5 мг/кг корма один раз в день, ежедневно. Каждая группа состояла из пяти животных. Согласно полученным данным, уровень холестерина значительно снизился на 45-й ($P < 0,01$) и 60-й день ($P < 0,05$), тогда как уровень триглицеридов значительно повысился на 15-й и 30-й день ($P < 0,01$). На протяжении всего испытания уровень мочевой кислоты и креатинина был постоянным. На 15-й и 60-й дни исследования уровень аспаратаминотрансферазы (АСТ) был значительно снижен ($P < 0,05$), а на 45-й и 60-й день — уровень щелочной фосфатазы (ЩФ) ($P < 0,01$ и $P < 0,05$ соответственно). На 15-й и 30-й день уровень альбумина заметно снизился (0,05), но на 60-й день наблюдалось увеличение уровня глобулина ($p < 0,05$). Падение уровней АСТ и ЩФ может быть признаком того, что функция печени, возможно, улучшилась. Однако снижение альбумина и повышение глобулина увеличивает вероятность того, что прием добавок с наноселеном может повлиять на метаболизм белков. Результаты исследования показали, что влияние добавок наноселена на метаболизм липидов, ферменты печени, функцию почек и уровень белка у ягнят-самцов зависело от продолжительности приема. В дополнение к возможным улучшениям функции печени, основанным на снижении уровней АСТ и ЩФ и изменениях уровней альбумина и глобулина, исследование также выявило начальное временное повышение уровня триглицеридов, за которым последовало снижение уровня холестерина.

Ключевые слова: липидный обмен, ферменты печени, уровень белка, аспаратаминотрансфераза, щелочная фосфатаза

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

Финансирование. Благодарности. Авторы хотели бы поблагодарить AL-JAF Khoshi Anwer Hasan за чтение черновика статьи и проверку работ с лингвистической точки зрения.

История статьи: поступила в редакцию 24 апреля 2023 г., принята к публикации 26 мая 2023 г.

Для цитирования: *Aljaf K.A.H., Bolshakova M.N.* Nano-selenium-mediated alterations in lipid profile, liver and renal functions, and protein parameters in male lambs: an experimental study // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 230–240. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-230-240

Об авторах:

Альджаф Карван Анвар Хассан — аспирант, ассистент, департамент ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; медицинская лаборатория анализа, Университет Джихан — Сулеймания, Ирак, 46001, Сулеймания; e-mail: karwan.anwar@garmian.edu.krd
ORCID: 0000–0001–8522–6639

Большакова Марина Николаевна — кандидат биологических наук, доцент, департамент ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: bolshakova-mv@rudn.ru
ORCID: 0000–0002–4553–7974 SPIN: 9428–4046

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-241-249
EDN QWNACF
УДК 636.09


Научная статья / Research article

Анализ оперативной коррекции атланта-аксиальной нестабильности у собак

И.Ф. Вилковыский¹  , И.А. Руснак¹, С.А. Ягников¹ ,
Н.В. Сахно² , С.Б. Селезнев¹ 

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

²Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина,
г. Орел, Российская Федерация

 vilkovyskiy-if@rudn.ru

Аннотация. Проведен анализ эффективности вентрального оперативного доступа при коррекции атлантаксиальной нестабильности у собак «игрушечных» пород. Рассмотрены 135 клинических случаев хирургической коррекции, общая концепция хирургического доступа и проведения имплантации, позволяющая минимизировать риски ятрогенных осложнений. Вентральную стабилизацию осуществляли путем формирования артродеза между атлантом и эпистрофеем посредством введения винтов или спиц сквозь суставные структуры и тела позвонков с вентральной поверхности и последующей их фиксацией костным цементом. Исследованный метод может сопровождаться осложнениями в виде несостоятельности металлоконструкций или повреждения возвратно-гортанного нерва, но, согласно статистике, встречаемость данных осложнений в мировой практике не превышает 20 %. Среди возможных осложнений во время операции выделяют гибель животного в результате внезапной остановки дыхания, связанной с травмой спинного мозга, миграцию или поломку имплантатов, неадекватное выравнивание позвоночника. Кроме того, имплантаты могут быть установлены некорректно, вызывая хроническую боль или поражение спинного мозга. В результате операции полностью выздоровели 104 собаки, частичное сохранение неврологического дефицита наблюдалось у 13 животных, 18 животных погибли в ранний послеоперационный период. Осложнения, которые не повлекли за собой ухудшение неврологического статуса и качества жизни, возникли у 17 животных. Анализируя проведенную работу, мы можем рекомендовать метод вентральной стабилизации при лечении атлантаксиальной нестабильности как наиболее надежный и оптимальный, поскольку он технически несложен и имеет хорошие отдаленные результаты. Статистические данные показали хорошие результаты, метод эффективен и позволяет полностью вернуть животное к качественной жизни в более чем 86 % случаев.

Ключевые слова: хирургическая операция, послеоперационные осложнения, позвоночный столб, вентральная стабилизация

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

© Вилковыский И.Ф., Руснак И.А., Ягников С.А., Сахно Н.В., Селезнев С.Б., 2023








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

Історія статті: постуила в редакцію 20 марта 2023 г., принята к публикации 26 апреля 2023 г.

Для цитування: Вилковський І.Ф., Руснак І.А., Ягніков С.А., Сакно Н.В., Селезнев С.Б. Аналіз оперативної корекції атланта-аксальної нестабільності у собак // Вестник Російського університета дружби народів. Серія: Агронія і тваринництво. 2023. Т. 18. № 2. С. 241—249. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-241-249

Analysis of surgical correction of atlanto-axial instability in dogs

Ilya F. Vilkovsky¹  , Ivan A. Rusnak¹, Sergey A. Yagnikov¹ ,
Nikolai V. Sakhno² , Sergey B. Seleznev¹ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, Russian Federation

*vilkovskiy-if@rudn.ru

Abstract. Effectiveness of ventral surgical approach in correction of atlanto-axial instability in dogs of “toy” breeds was analyzed in the research. 135 clinical cases of surgical correction, the general concept of surgical access and implant placement, which minimize risks of iatrogenic complications, were studied. Ventral stabilization was carried out by forming an arthrodesis between atlas and epistropheus by inserting screws or spokes through articular structures and vertebral bodies from ventral surface and then fixing them with bone cement. In the studied method, there are also complications in form of failure of metal structures or damage to recurrent laryngeal nerve, but, according to statistics, the incidence of these complications in world practice does not exceed 20 %. Among the possible complications during the operation are death of animal because of sudden respiratory arrest associated with spinal cord injury, migration or breakage of implants, inadequate alignment of spine. In addition, implants may not be placed correctly causing chronic pain or damage to the spinal cord. As a result of the operation, 104 dogs fully recovered, partial preservation of neurological deficit was observed in 13 animals, 18 animals died in the early postoperative period. Complications that did not lead to a deterioration in neurological status and quality of life occurred in 17 animals. Analyzing the work done, the method of ventral stabilization in the treatment of atlanto-axial instability can be recommended as the most reliable and optimal method, since it is technically simple and has good long-term results. Statistical data showed good results, the method is effective and allows to fully return the animal to a quality life in more than 86 % of cases.

Keywords: surgery, postoperative complications, spinal column, ventral stabilization

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

Article history: Received: 20 March 2023. Accepted: 26 April 2023.

For citation: Vilkovsky IF, Rusnak IA, Yagnikov SA, Sakhno NV, Seleznev SB. Analysis of surgical correction of atlanto-axial instability in dogs. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):241—249. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-241-249

Введение

Атланта-аксiальная нестабильность (ААН) — широко распространенная патология кранио-вертебральной зоны позвоночного столба у «игрушечных» пород собак, и к настоящему времени накоплен обширный опыт использования различных методов для лечения данного заболевания. Многолетние исследова-

ния продемонстрировали различные подходы к решению задач хирургической практики при ААН. Так, ряд авторов объявили об использовании дорсального метода [1], что дало определенные основания считать его наиболее приемлемым и дающим положительные результаты. При этом в [2] утверждают, что дорсальная декомпрессия дает некоторое облегчение, но не снимает давление на вентральную поверхность спинного мозга. Вместе с этим дорсальная техника, с жесткой фиксацией посредством введения спиц Киршнера через остистый отросток эпистрофея в крылья атланта или фиксация позвонков серкляжной проволокой, долгое время использовалась в практике и определенно сыграла свою положительную роль [3–7].

Появившиеся сравнительно недавно вентральные техники обеспечивают доступ к атланта-аксиальным суставам, и проводимая в таких случаях санация суставов вызывает артродез и связанную с этим постоянную стабильность. Доступ к вентральной поверхности позвонков осуществляется по средней линии между правой грудно-головной и грудно-щитовидной мышцами [8]. Преимуществами его использования являются избежание осложнений и снижение риска ятрогенного повреждения спинного мозга при установке винтов за счет их положения и направления [9–11].

Клинический опыт показывает, что вентральные методы включают перекрестное штифтование, трансартикулярные винты, комбинацию штифтов или винтов с костным цементом, а также различного размера фиксирующих позвонки пластин. Авторы в [12–14] использовали кортикальные винты введенные в суставы под углом в билатеральном направлении, тем самым снизив вероятность ятрогенного повреждения спинного мозга. В [15] использовали спицы Киршнера, которые билатерально от эпистрофея вводили через синовиальные суставы в тело атланта. Таким образом, большое количество вариантов оперативных приемов говорит о продолжающемся поиске наиболее оптимального хирургического подхода к лечению ААН и до сих пор, нет единого мнения в том, что же является наиболее предпочтительным — метод вентральной стабилизации пластиной, спицами Киршнера или трансартикулярными кортикальными винтами с использованием костного цемента [16–19]. В этой связи, вопрос о преимуществах того или иного метода остается открытым.

Цель исследования — представить анализ эффективности хирургического метода вентральной стабилизации атланта и эпистрофея.

Материалы и методы исследования

В период с 2015 по 2023 г. были проанализированы карты пациентов с неврологическим дефицитом, из них 9657 животным была проведена визуальная диагностика на МРТ и КТ. Из общего числа собак и кошек только 2860 (29,6 %) животных были с патологиями в шейном отделе позвоночного столба. И лишь у 135 животных была выявлена ААН, что составляет лишь 1,4 % от общего числа животных, страдающих неврологическими расстройствами.

Каждому животному проводили первичный неврологический осмотр, выявляли стадию неврологического дефицита и проводили визуальное обследование,

рентгенографию, МРТ шейного отдела на томографе Siemens Impact 1Тл, КТ шейного отдела на аппарате Siemens Somatom Go. Now, 32 среза. У всех животных в группе была выявлена вентральная компрессия спинного мозга на уровне атланта и эпистрофея [19]. Также в группе с ААН выявляли сопутствующие заболевания: Киари-подобную мальформацию, грыжу мозжечка, впадину Дьюи, сириногоидромиелию. У 9 собак была выявлена гипоплазия зуба эпистрофея, у 3 собак — аплазия зуба эпистрофея, у 1 собаки — девиация зуба, 30 собак поступили с переломом атланта и 5 собак — с переломом зуба эпистрофея.

Всем животным провели хирургическое лечение методом вентральной стабилизации винтами в билатеральном направлении с применением полиметилметакрилата.

Результаты исследований и обсуждение

Собственный клинический опыт, а также анализ данных научной литературы [2, 16, 17], указал на наличие большого количества осложнений при хирургической коррекции посредством дорсальной фиксации ААН. Так, исследования продемонстрировали множество осложнений, проявляющихся в долгосрочной перспективе несостоятельностью металлоконструкций и рецидивами в операционной зоне, характеризующимися подвывихом позвонков. Вместе с этим, в постоперационный период, необходима дополнительная наружная фиксация краниовертебральной зоны животного и длительные сроки реабилитации, а зачастую и проведение реопераций. В этой связи, предпочтительным методом лечения на сегодня является вентральная стабилизация атланта и эпистрофея винтами или спицами с использованием костного цемента (полиметилметакрилата). Данный способ наиболее надежен, он позволяет провести артродез, что в свою очередь, в большей степени, обеспечивает состоятельность металлоконструкции.

Вентральный метод коррекции осуществляли посредством проведения винтов с фиксацией костным цементом. В методике [19, 20] выполнения данной операции, авторы отмечали: «Оперативный доступ выполняли с вентральной поверхности области шеи к дуге атланта и телу эпистрофея, путем диссекции грудино-щитовидной и грудино-подъязычной мышц, а также выделением атланта-аксиального сустава от мягких тканей. Хирургической фрезой проводили абразию суставных поверхностей С1-С2 с целью создания артродеза суставных поверхностей. Два винта проводили интраартикулярно в вентральную дугу атланта с латеральным смещением угла проведения до 35°, и два винта — в вентральную поверхность краниальных суставных фасеток с латеральным отклонением угла проведения винтов 40...45°. Один винт проводили монокортикально в самую толстую часть тела эпистрофея с каудальной его части в латеральном направлении под углом 55...65°, что позволяет выполнять distraction зуба и в момент отведения зуба, укладывали костный цемент. При этом, осуществляли контроль до полного отверждения цемента». Операционную рану закрывают послойно монофиламентной нитью. Следует отметить, что в основе операции лежит снижение давления на спинной мозг и стабилизация сустава (рис. 1–6). Давление обычно снимается путем приведения позвонков в нормальное анатомическое поло-

жение. Если зуб эпистрофея деформирован и смещен в сторону спинного мозга, его нужно удалять, чтобы уменьшить давление на вентральную поверхность спинного мозга. Резюмируя, можно отметить, что атлантаксиальный сустав стабилизируют с помощью вентральной техники, поскольку доступы с дорсальной стороны обычно не приводят к стойкой фиксации двух поверхностей позвонков, а долговременная стабильность обеспечивается прочностью металлоконструкции.



Рис. 1. Рентгенография в боковой проекции. Сужение спинномозгового канала вследствие вентральной компрессии зубом эпистрофея

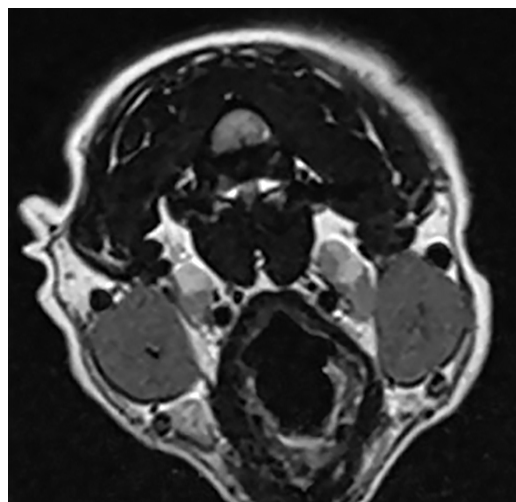


Рис. 2. МРТ в сагиттальной проекции. Определяется сдавливание спинного мозга на уровне C1–C2



Рис. 3. Послеоперационный снимок в дорсовентральной проекции. Создание артродеза суставных поверхностей посредством 7 винтов



Рис. 4. Послеоперационный снимок в латеролатеральной проекции. Определяется сохранность и объем спинного мозга после операции. Фиксация винтами и костным цементом

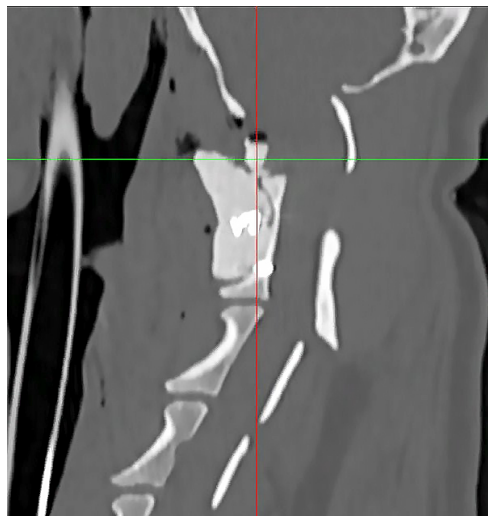


Рис. 5. Послеоперационный снимок КТ в сагиттальном направлении. Определяется со-хранность и объем спинного мозга после операции

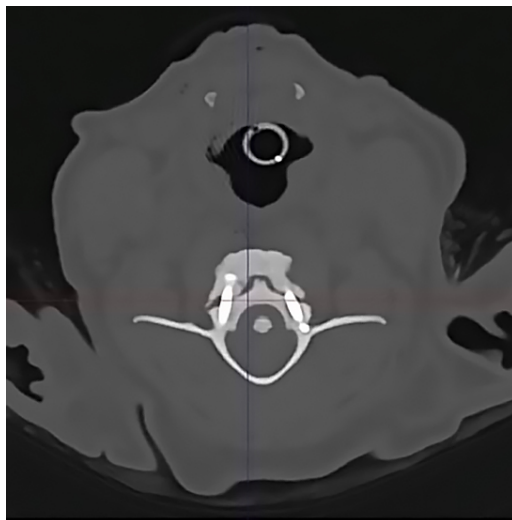


Рис. 6. Снимок КТ в са-гиттальной проекции. Определяется сохранность и объем спинного мозга после операции

Источник: снимки сделаны авторами

Анализ метода показал наличие осложнений в виде несостоятельности конструкций или повреждения возвратно-гортанного нерва, но, согласно статистике, встречаемость данных осложнений в мире не превышает 20 %.

Среди возможных осложнений хирургического вмешательства выделяют гибель животного в результате внезапной остановки дыхания по причине травмы спинного мозга во время операции, миграции или поломки имплантатов, неадекватного выравнивания позвоночника. Кроме того, имплантаты могут быть установлены неправильно, вызывая хроническую боль или поражение спинного мозга, и требуют удаления. Неправильное расположение может быть проблемой из-за небольшой площади кости, доступной для зацепа штифтов или винтов. Так, в [1] было выполнено 28 хирургических вмешательств собакам с ААН. Авторы указывали, что дорсальная стабилизация у семи собак привела к двум выздоровлениям и пяти неудачам, связанным с некорректной фиксацией. Вентральная декомпрессия и стабилизация у 18 собак привели к восьми выздоровлениям и четырем неудачам.

Учитывая сказанное и опыт работы с осложнениями, особое внимание следует уделять патогенезу данного заболевания. При этом, обзор научной литературы показывает: при патологии зуба эпистрофея в 24 % случаев выявляют его аплазию, в 32 % случаях — его гипоплазию и лишь в 26 % случаев — аномалию связочного аппарата [21–23], что определенно увеличивает потребность в поиске оптимального метода. При этом, существуют послеоперационные осложнения, затрагивающие функцию верхних дыхательных путей (например, кашель, рвотные позывы, паралич гортани). Аспирационная пневмония также является потенциальным послеоперационным осложнением, которое может быть связано с дисфункцией верхних дыхательных путей (например, гортани) и/или глотки. В целом, зарегистрирован-

ные показатели периоперационной смертности при хирургическом лечении собак с ААН варьируют от 0 до 30 %, при этом в самых последних отчетах по анализу проведенной работы этот показатель составляет от 5 до 10 %. Из-за близости атлантаксиального участка к центрам ствола мозга, отвечающим за сердечный и дыхательный цикл, интраоперационная гибель объясняется непреднамеренным повреждением этих мозговых областей [23–25].

Анализ проведенных операций показал положительные результаты. Согласно наблюдениям, из 135 прооперированных животных выздоровели 104 животных, частичное сохранение неврологического дефицита наблюдалось у 13 животных, 18 животных погибли в ранний послеоперационный период. Осложнения, которые не повлекли за собой ухудшение неврологического статуса и качества жизни, возникли у 17 животных (табл.).

Показатели постоперационного периода при вентральной коррекции атлантаксиальной нестабильности у собак

Тип операции	Общее количество животных	Полное и частичное восстановление, сохранение хорошего качества жизни	Полное восстановление походки	Частичное восстановление, сохранение легкого неврологического дефицита	Летальный исход	Осложнения без ухудшения клинических симптомов
Вентральная стабилизация, ед.	135	117	104	13	18	17
Доля, %	100	86,6	77	9,6	13,3	12,6

Заключение

Исходя из анализа результатов проведенной работы, мы можем рекомендовать метод вентральной стабилизации при лечении ААН, как наиболее надежный и оптимальный, поскольку он технически несложен и имеет хорошие отдаленные результаты. Статистические данные показывают хорошие результаты, метод эффективен и позволяет полностью вернуть животное к качественной жизни, в более чем 86 % случаев.

Библиографический список

1. Thomas WB, Sorjonen DC, Simpson ST. Surgical management of atlantoaxial subluxation in 23 dogs. *Vet Surg*. 1991;20(6):409–412. doi: 10.1111/j.1532–950X.1991.tb00348.x
2. Geary JG, Oliver JE, Hoerlein BF. Atlanto axial subluxation in the canine. *J Small Anim Pract*. 1967;8(10):577–582. doi: 10.1111/j.1748–5827.1967.tb04500.x
3. Борзенко Е.В., Ватников Ю.А. Метод диагностики краниовертебральной патологии у собак карликовых пород // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2011. № 2. С. 63–75.
4. Jeffery ND. *Handbook of Small Animal Spinal Surgery*. 1st ed. London: WB Saunders Co; 1995.
5. Kim D, Lee S, Kim G. Application of a Modified Dorsal Wiring Method in Toy Breed Dogs With Atlantoaxial Subluxation. *in vivo*. 2023;37(1):247–251. doi: 10.21873/invivo.13074

6. Song JH, Hwang TS, Jung DI, Jeong HJ, Huh C. Successful Management of and Recovery from Multiple Cranial Nerve Palsies following Surgical Ventral Stabilization in a Dog with Atlantoaxial Subluxation. *Veterinary Sciences*. 2022;9(7):322. doi: 10.3390/vetsci9070322
7. Toni C, Oxley B, Behr S. Atlanto-axial ventral stabilization using 3D-printed patient-specific drill guides for placement of bicortical screws in dogs. *Journal of Small Animal Practice*. 2020;61(10):609–616. doi: 10.1111/j.sap.13188
8. Shores A, Tepper LC. A modified ventral approach to the atlantoaxial junction in the dog. *Vet Surg*. 2007;36(8):765–770. doi: 10.1111/j.1532–950X.2007.00334.x
9. Борзенко Е.В., Ватников Ю.А. Патогенетические особенности грыжеообразования межпозвоночных дисков у собак хондродистрофических пород // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2013. № 4 (17). С. 37–39.
10. Ha JH, Jung CS, Choi SJ, Jung J, Woo HM, Kang BJ. Surgical Stabilization of a Craniocervical Junction Abnormality with Atlantoaxial Subluxation in a Dog. *J Vet Clin*. 2018;35(1):30–33.
11. Kamishina H, Sugawara T, Nakata K, Nishida H, Yada N, Fujioka T, et al. Clinical application of 3D printing technology to the surgical treatment of atlantoaxial subluxation in small breed dogs. *PLOS One*. 2019;14(5): e0216445. doi: 10.1371/journal.pone.0216445
12. Denny HR, Gibbs C, Waterman A. Atlantoaxial subluxation in the dog: a review of thirty cases and evaluation of treatment by lag screw fixation. *J Small Anim Pract*. 1988;29(1):37–47. doi: 10.1111/j.1748–5827.1988.tb02262.x
13. Forterre F, Revés NV, Stahl C, Gendron K, Spreng D. An indirect reduction technique for ventral stabilization of atlantoaxial instability in miniature breed dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2012;25(04):332–336. doi: 10.3415/VCOT-11-07-0107
14. Platt SR, Chambers JN, Cross A. A modified ventral fixation for surgical management of atlantoaxial subluxation in 19 dogs. *Vet Surg*. 2004;33(4):349–354. doi: 10.1111/j.1532–950X.2004.04050.x
15. Sorjonen DC, Shires PK. Atlantoaxial instability: a ventral surgical technique for decompression, fixation and fusion. *Vet Surg*. 1981;10(1):22–29. doi: 10.1111/j.1532–950X.1981.tb00625.x
16. Plessas IN, Volk HA. Signalment, clinical signs and treatment of atlantoaxial subluxation in dogs: a systematic review of 336 published cases from 1967 to 2013. *J Vet Intern Med*. 2014;28(3):944–975.
17. Scollan JP, Alhammoud A, Tretiakov M. The Outcomes of Posterior Arthrodesis for Atlantoaxial Subluxation in Down Syndrome Patients. *Clinical Spine Surgery*. 2018;31(7):300–305. doi: <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000658>
18. Takahashi F, Hakozaiki T, Kouno S, Suzuki S, Sato A, Kanno N, et al. Atlantooccipital overlapping and its effect on outcomes after ventral fixation in dogs with atlantoaxial instability. *J Vet Med Sci*. 2018;80(3):526–531. doi: 10.1292/jvms.17–0438
19. Вилковский И.Ф., Руснак И.А., Ватников Ю.А., Шаранов Д.Н., Прозоровский И.Е. Метод коррекции атланто-аксиальной нестабильности у собак // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2021. № 1. С. 63–66. doi: 10.17238/issn2072–6023.2021.1.63
20. Joaquim AF, Tedeschi H., Chandra P.S. Controversies in the surgical management of congenital craniocervical junction disorders — A critical review. *Neurol India*. 2018;66(4):1003–1015.
21. Борзенко Е.В., Ватников Ю.А. Теоретическое обоснование грыжеообразования межпозвоночных дисков у хондродистрофических пород собак // Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные. 2012. № 6. С. 34–35.
22. Борзенко Е.В., Ватников Ю.А. Диагностические критерии краниовер-тебральных патологий у собак карликовых пород // Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные. 2010. № 2. С. 22–27.
23. Dewey CW, Marino DJ, Loughin CA. Craniocervical junction abnormalities in dogs. *NZ Vet J*. 2013;61(4):202–211. doi: 10.1080/00480169.2013.773851
24. Cerda-Gonzalez S, Dewey CW. Congenital diseases of the craniocervical junction in the dog. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 2010;40(1):121–141. doi: 10.1016/j.cvsm.2009.10.001
25. Dewey CW, Davies E, Bouma JL. Kyphosis and kyphoscoliosis associated with congenital malformations of the thoracic vertebral bodies in dogs. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*. 2016;46(2):295–306. doi: 10.1016/j.cvsm.2015.10.009

Об авторах:

Вилковский Илья Федорович — кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: vilkovyskiy-if@rudn.ru
ORCID: 0000–0003–0084–6383
SPIN-код: 6544–1649

Руснак Иван Анатольевич — аспирант департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: 89rus.ivan@gmail.com

Ягников Сергей Александрович — доктор ветеринарных наук, профессор, профессор департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: yagnikov-sa@rudn.ru

ORCID: 0000–0003–2567–272X

SPIN-код: 3104–7566

Сахно Николай Владимирович — доктор ветеринарных наук, доцент, профессор кафедры эпизоотологии и терапии, Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина, 302019, Российская Федерация, г. Орел, ул. Генерала Родина, д. 69; e-mail: sahnnoorelsau@mail.ru

ORCID: 0000–0002–3281–1081

SPIN-код: 5461–3191

Селезнев Сергей Борисович — доктор ветеринарных наук, профессор, профессор департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, 117198, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: seleznev-sb@rudn.ru

ORCID: 0000–0002–4249–8834

SPIN-код: 8139–5111







DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-250-263

EDN SLOZKK

УДК 619:636.8:615

Research article / Научная статья


Effectiveness of Farnesol for treatment of dog otitis complicated by *Malassezia pachydermatis*

Ifarajimi R. Olabode¹  , Nadezhda P. Sachivkina¹ ,
Ekaterina V. Kiseleva^{2,3} , Aleksey I. Shurov¹ 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Pskov State University, Pskov, Russian Federation

³Nikulin Circus on Tsvetnoy Boulevard, Moscow, Russian Federation

 1042205126@rudn.ru

Annotation. The study involved 30 dogs with otitis complicated by *Malassezia pachydermatis*. The animals were divided into 2 groups: experimental (n = 15) and control (n = 15). The experimental group was prescribed veterinary ear drops Surolan + a solution of the drug Farnesol; the control group — Surolan. The study showed that when Farnesol is added to the treatment regimen for fungal otitis etiology in dogs, small changes in the clinical composition of the blood are recorded, characterized by an increase in the number of erythrocytes and hemoglobin, a decrease in the number of leukocytes, with a decrease in the indicators of eosinophils and rod-shaped neutrophils in the experiment compared with the control. In addition, the complete absence of *Malassezia pachydermatis* in the smears of the ear contents after two weeks of therapy with a combined drug was proved. That is, in the experimental group, there were no cases of the presence of yeast-like fungi (YLF) in the smear after combined therapy with Surolan + Farnesol. And in the control group of 15 animals, YLF were observed in two with microscopy of ear exudate smears, but not in high concentration. The use of a combination of Surolan and Farnesol in dogs of the experimental group led to a decrease in hyperemia, itching, edema, ear fetid fluid on the 5th...7th days of treatment, and complete clinical recovery of the animals occurred by the 10th...14th day of therapy. In the control group, only Surolan was used, and improvement of clinical condition occurred on days 12...14, and recovery only after completion of the full course. As a result, both treatment regimens were successful, but the scheme with Farnesol gave faster results due to the wide spectrum of action of this drug: both antimicrobial and anti-inflammatory.

Keywords: yeast-like fungi, mycosis, clinical blood test, phytotherapy, Surolan

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflict of interest. The authors have no advertising purposes. Used drugs were purchased: Surolan in a veterinary pharmacy, Farnesol — in the Moscow office of Sigma-Aldrich.

Authors contribution. NP Sachivkina, EV Kiseleva developed and designed the experiments; IR Olabode collected the data; IR Olabode, AI Shurov analyzed the data; NP Sachivkina wrote the paper. All authors read and approved the final manuscript.

© Olabode I.R., Sachivkina N.P., Kiseleva E.V., Shurov A.I., 2023



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

Article history: Received: 12 february 2023. Accepted: 22 March 2023.

For citation: 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

Introduction

Inflammatory processes of the middle ear complicated by fungal infection are a common pathology and, according to O.G. Dutova and co-authors, “otitis media account for 20 % of all diseases encountered in veterinary practice. It has also been found that otitis media of the outer ear in dogs and cats are five times more common than in other animal species” [1]. At the same time, there is a persistent trend worldwide towards an annual increase in the incidence of opportunistic mycoses in animals. According to many scientists, dermatomycoses (microsporia, trichophytia) are replaced by diseases caused by opportunistic fungi, one of these are yeast-like fungi (YLF) of the genera *Candida* and *Malassezia* [1–4]. But, although fungi of the genus *Malassezia* are the most common etiological agents of infectious otitis media in animals, it must be borne in mind that these diseases can also be caused by other types of bacteria and fungi, which indicates the need for qualified species identification of microorganisms isolated from animals suspected of having *Malassezia* infection.

The pathogenic properties of YLF of *Malassezia* genus and their clinical role in infectious diseases of domestic animals are still the topics of ongoing discussions. According to A. Puigdemont: “The factors due to which the transition of a microorganism from a non-pathogenic to a clearly pathogenic form capable of causing a disease has not been fully clarified” [5]. There is no consensus on whether *Malassezia* infections can be considered as independent diseases, or the development of these fungi becomes widespread as an aggravating factor against the background of other pathologies. In veterinary medicine, the clinical role of fungi of *Malassezia* genus in superficial, and deep mycoses has been established relatively recently — in the last 2–3 decades. However, it was these studies that made a significant contribution to understanding of pathogenesis of *Malassezia* infections. At the moment, most modern researchers share the opinion that pathogenicity of *Malassezia* spp. is “opportunistic” in nature, i.e. DPG is able to exhibit virulent properties only against background of significant predisposing factors. It follows from the work of Jacques Guillot that “Under favorable conditions (increased sebum secretion and humidity, violation of the epidermal barrier), they (*Malassezia* spp.) actively multiply, the yeast form of the fungus turns into mycelial, *Malassezia* is introduced into the epidermis, showing pathogenic properties” [6]. However, according to another theory proposed by R. Bond in 1996 and J. Korbelik in 2018, “the transformation from the yeast phase to the mycelial phase is not due to the special pathogenicity of the latter, but is only a consequence of lipid metabolism disorders in the host body. This is based on the fact that *M. pachydermatis* view is not able to transform into a mycelial form” [7, 8].

According to C. Cafarchia with co-authors, “The development of the pathological process in malasseiosis is associated with a multiple increase in the population of microorganisms in the lesion. The population of YLF in sick animals increases by 100...10,000 times. Moreover, an increase in the number of fungi of *Malassezia* genus is noted not only on the surface of skin, but also on mucous membranes of nasal cavity, vulva and prepuce, i.e. the factors predisposing to this are systemic in nature” [9]. On the one hand, the primary factor for increasing YLF population is a violation of physical, chemical and immunological mechanisms of host defense, which normally limit fungal colonization of skin. On the other hand, as reflected in our work, “in the launch of the pathological process, the key role is played by communication of microorganisms within the population carried out by means of “signaling molecules” (QS). It is assumed that when population reaches a certain number, “sense of quorum” arises in it, which serves as starting signal for activation of pathogenicity factors and, as a consequence, leading to the development of an infectious process” [10].

At the same time, significant virulence factors of *Malassezia* fungi are hydrolytic enzymes described in detail in the work of M. Park. In 2021, “causing the invasion of the fungus into the host tissue. Lipolytic enzymes are able to hydrolyze skin secretion lipids to free fatty acids. In turn, free fatty acids inhibit the growth of other microorganisms, increasing the competitiveness of YLF” [11].

Recently, in the scientific literature, close attention has been paid to the study of herbal medicines, the possibility of their use for the treatment of infectious (fungal and bacterial) diseases [12, 13]. According to the literature and our own research, Farnesol ($C_{15}H_{26}O$) has proven its antimycotic efficacy in in vivo and in vitro models [14–19]. Chemically, Farnesol is an acyclic sesquiterpene alcohol, is a thermally stable molecule that is not exposed to extreme pH values, which is especially important in the development of YLF infection. Farnesol as a QS molecule participates in the regulation of various physiological processes in unicellular fungi, including filamentation, biofilm formation, drug susceptibility and apoptosis. This compound is produced by many microorganisms, and is also contained in various essential oils of plants, for example, in the flowers of Linden, Lat. *Tilia europaea* [20].

Today, in veterinary medicine, only a few doctors recommend phytopreparations for the treatment of otitis and dermatitis, and there is still relatively little data on their effectiveness in the scientific literature, especially in Russian. Therefore, the development of targeted therapy using alternative means can become one of the directions in solving global problems of infectious animal diseases, as well as increased resistance of microorganisms [21], since without proper treatment, serious complications of otitis can occur in animals, namely: extensive hematomas of the auricle, injuries as a result of combing, calcification of the fibrous tissue of the ear, abscess of the parotid space, damage to the eardrum (hyperplasia, thickening, stretching), the transition of external to medium otitis.

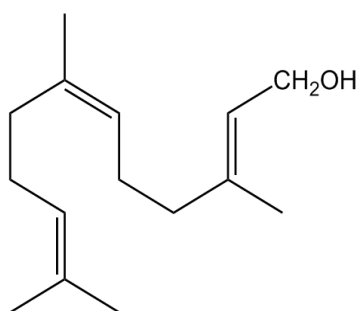
The purpose of the study — to determine the effectiveness of the use of Farnesol for the treatment of dog otitis complicated by *Malassezia pachydermatis*.

Materials and methods

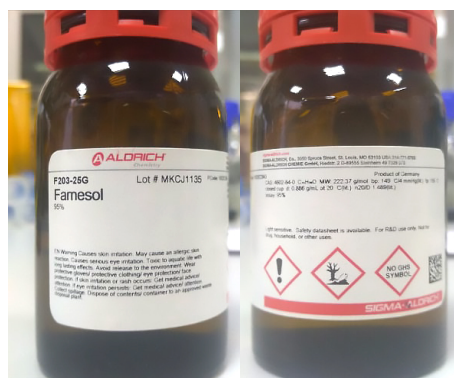
In the center of veterinary Innovative Medicine of RUDN University (Moscow) for the period 2020–2023, 76 cases of dog otitis were investigated, of which 30 cases were caused by *Malassezia pachydermatis*. Preliminary identification of strains to the genus level was carried out by phenotypic signs using microscopy of a smear of ear contents and staining with Gentian violet. Ear exudate was applied to the surface of the nutrient medium “Saburo agar, chloramphenicol 2” and cultured at 37 °C for 48 hours. Species identification was carried out by the MALDI-TOF-MS method on an Autoflex III mass spectrometer (Bruker Daltonics, Germany) using flex Control software. For each isolate, spectra of the expressed proteins were recorded in 4 repetitions. The obtained spectra were compared with MALDI Biotyper 3 mass spectrum profile library [16, 19, 22].

The study involved 30 dogs of different breeds, gender and age from 1 to 10 years. All the animals had apartment maintenance with walking. The diet consisted of dry food. Treatments for ectoparasites (external) and endoparasites (internal) were carried out in all participants of the experiment regularly and on time. From anamnesis: there was itching in the ears, an unpleasant smell for several weeks. At the receptions, it was noted: hyperemia of the auricles, stenosis of the auditory canal, in some cases alopecia, a large amount of yellow-brown discharge with a sharp sour smell.

The animals were divided into 2 groups: experimental (n = 15) and control (n = 15). The experimental group was assigned ear drops veterinary Surolan manufactured by Elanco Animal Health (Indiana, USA). The form is a suspension, the active substance is polymyxin B, prednisone, miconazole, 2 times a day, for 14 days. Plus, a solution of the drug Farnesol (Far) (Sigma-Aldrich, USA), which was prepared in advance at a concentration of farnesol 100 microns per ml, dilution was carried out in sterile saline solution (SS) pH 7.0 (Fig. 1). Animal owners were given 10 ml of the drug in a plastic bottle with spray. The instructions for use were explained: after applying Surolan drops, apply Farnesol in the form of a spray twice a day, too. The control was a group of animals that were prescribed only the drug Surolan.



a



b

Fig. 1. Farnesol: **a** – the chemical formula; **b** – the appearance of the drug (Sigma-Aldrich, USA)

Source: **a** – internet, **b** – own photo, by I.R. Olabode

Venous blood to determine the indicators of general clinical analysis was taken at the initial admission and 2 weeks after the start of treatment from the internal femoral vein or lateral subcutaneous vein of the lower leg.

Blood tests were performed using the Mindray BC-2800Vet hematological analyzer (Mindray, China) [23, 24].

In whole blood, 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.

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.

Research results and discussion

The data available to indicate “the wide prevalence of *Malassezia* infections and the diverse species composition of the etiological agents of these diseases in domestic animals. Fungi of *Malassezia* genus do not have strict specificity with respect to the type of host organism, and both zoophilic and anthropophilic species can act as pathogens in animals. Of great practical importance is the fact that the disease can be caused by the association of several species of *Malassezia* genus” [25, 26]. These data emphasize the importance of a thorough mycological examination in the diagnosis of *Malassezia* infections.

In our work, several clinical forms of external otitis were noted. The first form, erythematous, was characterized, of course, by erythema, edema, the intensity of itching and scratching were different in different dogs and did not fit one general description. The second form, erythematous-ceruminous, manifested itself with erythema, severe itching, abundant discharge of earwax (cerumen) of yellow-brown color, most often with an unpleasant odor. The third form, ceruminous, was characterized, naturally, by abundant secretion of ear secretions, but without signs of inflammation (erythema and edema). The fourth, proliferative, was characterized by hyperplasia of sebaceous glands, formation of papules similar to a calendula flower, which is characteristic of prolonged, chronic cases. The fifth form, purulent, was manifested by abundant purulent discharge from the ear, during palpation the ear was painful, sometimes crepitation was heard. In most cases, we observed *Malassezia*-otitis media with erythematous-ceruminous form (Fig. 2, 3).

During microbiological examination of the culture of YLF separated from the ears of sick dogs included in the experiment were assigned to *Malassezia* genus by phenotypic characteristics (Fig. 4, a). When cultivating the material on the surface of the nutrient medium “Saburo agar, chloramphenicol 2” after 48 hours of cultivation at 37 °C, a typical growth of S forms of mucous, separately located colonies was observed, $d = 3...5$ mm; or merged colonies of milky-white color (Fig. 4, b).



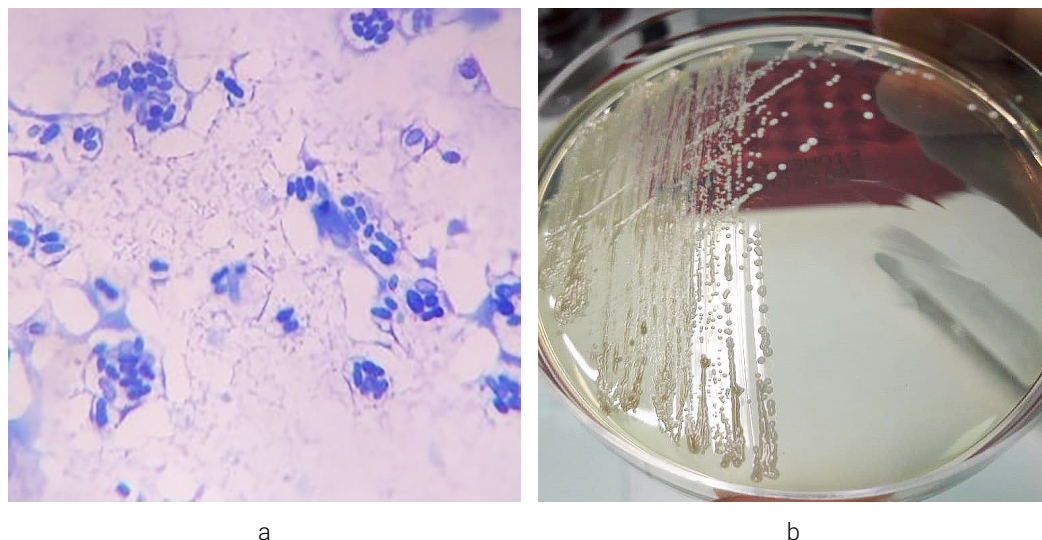
Fig. 2. Clinical picture of *Malassezia* otitis characterized by erythema, alopecia and scratching
Source: own photo, by I.R. Olabode



Fig. 3. Clinical picture of *Malassezia* otitis with the release of abundant ear secretions (cerumen) of yellow-brown color with a crumbly or waxy coating
Source: own photo, by I.R. Olabode

Then the strains were identified to the species by the MALDI-TOF/TOF MS method as *Malassezia pachydermatis* — the most frequently isolated causative agent of invasive malasseziosis in dogs. The Score values were at least 2.00 for all studied strains.

If the culture was not identified as *Malassezia pachydermatis*, then the data from these animals were not included in the work. This article presents the results of an experiment with 100 % identification of *Malassezia pachydermatis*. There were precedents for the identification of another type of microorganism and, despite the fact that the animals were prescribed therapy and blood was taken for research, these results were not taken into account.



a
b
Fig. 4. *Malassezia pachydermatis*: a – morphology; b – cultural properties

Source: own photo, by I.R. Olabode

Two weeks later, the animals of both groups were repeatedly swabbed with ear contents. It is worth noting that in the experimental group there was not a single case of presence of DPG in the smear after combined therapy with Surolan + Farnesol. And in the control group of 15 animals, YLF was observed in two with microscopy of ear exudate smears, but not in high concentration. The use of drugs Surolan + Farnesol in animals of the experimental group reduced the signs of hyperemia, edema, itching, the amount of exudation on the 5...7 days of treatment, and full clinical recovery of animals occurred on the 10...14 days. When using only Surolan in the control group, the improvement of the clinical condition occurred on days 12...14, and the final recovery followed after a full course of treatment. Analyzing the results obtained, we can say that both treatment regimens were effective, but the scheme used in the experimental group gave faster results due to the wide spectrum of action of the drug Farnesol in relation to microorganisms that are most often the causative agents of otitis media.

The study of this issue by our scientific group showed that “the mechanism of intrapopulation communication of microorganisms is associated with such a phenomenon as the formation of biofilms — supra-organizational structures that provide protective and trophic functions. Biofilms are differentiated communities of microorganisms formed by a single microbial agent or a mixture of fungal and bacterial species. Biofilms attach to biotic or abiotic surfaces, and their structure contributes to the innate physical and chemical resistance of microorganisms” [17–19, 27]. It is known that the ability to form biofilms is one of the pathogenicity factors of *Candida* genus [28]. And in 2007, F.T. Cannizzo found that “fungi of *Malassezia* genus are also capable of forming biofilms on the surface of various substrates” [29]. Also H. Yang with colleagues, he established that “symbiotic relationships of YLF and skin-dwelling bacteria (in particular, staphy-

lococci) play an important role in the pathogenesis of the disease. Staphylococci also produce lipase, which disrupts the secretory function of the skin and creates favorable conditions for the growth of both organisms, while such conditions are unfavorable for other competitive microorganisms” [30]. In addition to staphylococci, other types of bacteria and microscopic fungi can play a role in the pathogenesis of the disease. Thus, “along with *M. pachydermatis*, bacteria — *Staphylococcus* spp., *Pseudomonas* spp., *Proteus* spp., *Streptococcus* spp., as well as fungi — *Candida* spp. and *Aspergillus* spp. were isolated from dogs with otitis” [31]. Treatment includes local and complex therapy with azole-type drugs, most often in the form of shampoos containing miconazole and chlorhexidine, or oral administration of antimycotic agents — itraconazole and / or ketoconazole. Treatment of concomitant animal diseases of infectious and non-infectious origin is very important to minimize relapses of malacosis. For many years, it has been believed that *Malassezia* strains from dogs and cats are sensitive to azoles, with the exception of fluconazole. However, mycological studies on the appearance of clinical strains of DPG with resistance to azole-type drugs are increasingly being published. This may be due to mutations or duplication of the ERG11 gene [32]. That is why the resistance of *Malassezia pachydermatis* to azole drugs is constantly monitored by scientists around the world [31–34]. These observations have caused increased interest in alternative antifungal drugs of local action, such as miramistin, chlorhexidine and various essential oils [12, 13, 30–32].

Clinical blood testing is one of the most important diagnostic methods that displays the reaction of hematopoietic organs to the influence of various physiological and pathological factors, it also allows to monitor the effectiveness of therapy. Clinical blood parameters of dogs with *Malassezia* otitis before treatment were characterized by low values of the number of red blood cells — $5.94 \pm 0.72 \cdot 10^{12}/l$, which cannot be called anemia, but is a borderline value. Also, a decrease in hemoglobin to 127.38 ± 9.34 g/l was observed in sick animals (Table). The number of leukocytes in the blood of sick animals is within the normal range of $13.14 \pm 3.85 \cdot 10^9/l$, but after therapy, the number of leukocytes became slightly lower. After treatment, the amount of hemoglobin in the blood of dogs increased to values of 168.54 ± 8.34 g/l in the experiment and 137.60 ± 9.34 g/l in the control. There is a significant difference of 1.2 times between these indicators, which indicates a positive effect of Farnesol in the treatment of *Malassezia* otitis.

A small eosinophilia (but within the normal range), which can be observed before the treatment of malacious otitis, is characteristic of many infectious and invasive diseases, as well as intoxication. Also, an increase in rod-shaped neutrophils of 9.63 ± 2.03 was observed in dogs before treatment, which is higher than the physiological norm and also indicates an inflammatory process with small values of segmented 56.28 ± 5.26 . After two weeks of treatment, we can observe an improvement in the clinical parameters of the blood of dogs and even see a statistically significant difference between the experience and the control with respect to rod-shaped neutrophils (1.59 ± 0.32 in the experiment and 2.25 ± 0.34 in the control), eosinophils (5.86 ± 1.72 and 8.32 ± 1.62) and hemoglobin levels (168.54 ± 8.14 and 137.60 ± 9.34). We characterize this process as a pronounced inflammatory reaction,

manifested by vivid clinical signs, as well as cellular dynamics, which is an important criterion for the indication of the disease.

Clinical indicators of dog blood in the experiment

Indicators	Reference values	Before treatment (n = 30)	After treatment	
			Experience (n = 15)	Control (n = 15)
Red blood cells, 10 ¹² /l	5.5...8.5	5.94 ± 0.72	7.91 ± 0.87	7.12 ± 1.04
Hematocrit,%	37...55	38.12 ± 3.98	51.54 ± 3.86	46.02 ± 4.37
Hemoglobin, g/l	120...180	127.38 ± 9.34	168.54 ± 8.14*	137.60 ± 9.34*
Leukocytes, 10 ⁹ /l	6...17	13.14 ± 3.85	8.54 ± 1.98	11.14 ± 2.61
Rod-shaped neutrophils,%	0...3	9.63 ± 2.03	1.59 ± 0.32*	2.25 ± 0.34*
Segmented neutrophils,%	60...70	56.28 ± 5.26	61.20 ± 5.45	58.82 ± 5.25
Eosinophils,%	2...12	10.41 ± 3.16	5.86 ± 1.72*	8.32 ± 1.62*
Monocytes,%	3...10	4.27 ± 0.84	2.69 ± 0.35	3.13 ± 0.64
Basophils,%	0...1	0.06 ± 0.02	0	0
Lymphocytes,%	12...30	22.41 ± 3.34	28.66 ± 2.24	27.48 ± 2.57

Note. * – statistically significant difference between experience and control.

Thus, when Farnesol is added to the treatment regimen for fungal otitis etiology in dogs, small changes in the clinical composition of blood are recorded, characterized by an increase in the number of erythrocytes and hemoglobin, a decrease in the number of leukocytes, with a decrease in the indicators of eosinophils and rod-shaped neutrophils in the experiment compared with the control.

Due to the fact that YLF of *Malassezia* genus often enter into symbiotic relationships with pathogenic and opportunistic bacteria, Farnesol therapy is of particular interest, since the antibacterial activity of this drug has long been recognized worldwide [14–20, 33–36]. Thus, the local application of Farnesol in polyinfection may have an effect on several microorganisms at once. In vivo data suggest that in combination with some antifungal drugs, Farnesol may have an adjuvant antimycotic effect [18, 19, 37–43].

Conclusion

Inflammation of the auditory canal develops at any age, it is characterized by a long, protracted course, leading to irreversible changes, in addition, the causative agents of otitis cause great harm to dog breeding. Both one and both ears can be involved in the pathological process. In most cases, both ears are affected in animals (bilateral otitis). The most typical clinical picture of *Malassezia* otitis is characterized by erythema, copious discharge of ear secretions, itching and scratching, and a specific unpleasant odor. Hyperkeratosis, lichenization of the skin of the auricles and the mouth of the auditory canal are also often observed — signs characteristic of chronic

inflammatory processes. As a rule, the disease is persistent, with periodic improvements and exacerbations.

Several degrees of severity of *Malassezia* otitis have been established, depending on the intensity of fungal contamination, the degree of ear inflammation and hyperkeratosis. With a small colonization by yeast-like fungi, there are no systemic manifestations of the disease: the inner surface of the auditory canal is slightly reddened, dry, crumbling or wax-like plaque may be observed during otological examination. With an average colonization of *Malassezia*, inflammation, swelling of the skin of the auricle increases, erythema becomes more pronounced. Pustules and papules appear on the surface of the skin, which after a few days are opened and covered with crusts. With a significant contamination of YLF, the inflammation is of a draining nature, the inner surface of the ear turns into a continuous oozing ulcer. In this case, fungi are always present in the smear, neutrophilic exudation is expressed, a lot of fibrin and tissue detritus. With the chronization of the process, the lichenization of the skin of the external auditory canal occurs, and the skin color acquires a bluish hue. Despite the fact that the process is fading, keratinized cells are detected in large quantities in the cytological smear, as a rule, leukocytes are always present and a large amount of *Malassezia* remains.

In this work, the effective antifungal effect of Farnesol against *Malassezia* infection in the local therapy of otitis media in dogs has been proven. Synergy in a pair of Farnesol/Surolan led to complete eradication of YLF with two-week therapy. Also during the study, it was shown that when Farnesol is added to the treatment regimen of fungal etiology otitis in dogs, small changes in the clinical composition of blood are recorded, characterized by an increase in the number of erythrocytes and hemoglobin, a decrease in the number of leukocytes. At the same time, the indices of eosinophils and rod-shaped neutrophils in the experiment significantly decreased compared with the control, which indicates the positive effect of Farnesol in the treatment of *Malassezia* otitis.

References / Библиографический список

1. Dutova OG, Kraskova EV, Radyuk I.E. The comparison of otitis etiology and treatment in small non-producing animals. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2016;(9):125–128. (In Russ.).
Дутова О.Г., Краскова Е.В., Радюк И.Е. Этиология и лечение отитов у мелких непродуктивных животных в сравнительном аспекте // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 9 (143). С. 125–128.
2. White SD, Bourdeau P, Blumstein P, Ibish K, Scott KV, Salman ND, et al. Comparison via cytology and culture of carriage of *Malassezia pachydermatis* in atopic and healthy dogs. In: *Advances in Veterinary Dermatology: volume 3. Proceedings of the Third World Congress of Veterinary Dermatology, Edinburgh, Scotland, 11–14 September, 1996*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd; 1998.
3. Kiss G, Radvanyi S, Szigei G. Characteristics of *Malassezia pachydermatis* strains isolated from canine otitis externa. *Mycoses*. 1996;39(7–8):313–321. doi: 10.1111/j.1439–0507.1996.tb00146.x
4. Hobi S, Cafarchia C, Romano V, Barrs, VR. Malassezia: Zoonotic Implications, Parallels and Differences in Colonization and Disease in Humans and Animals. *Journal of Fungi*. 2022;8(7):708. doi: 10.3390/jof8070708
5. Puigdemont A, D’Andreano S, Ramió-Lluch L, Cuscó A, Francino O, Brazis P. Effect of an anti-inflammatory pomegranate oil treatment on the clinical evolution and microbiota profile of dogs with otitis externa. *Veterinary Dermatology*. 2021;32(2):158–e37. doi: 10.1111/vde.12930
6. Guillot J, Bond R. Malassezia yeasts in veterinary dermatology: an updated overview. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2020;10:79. doi: 10.3389/fcimb.2020.00079

7. Korbek J, Singh A, Rousseau J, Weese JS. Analysis of the otic mycobiota in dogs with otitis externa compared to healthy individuals. *Vet. Dermatol.* 2018;29(5):417–e138. doi: 10.1111/vde.12665
8. Bond R, Ferguson EA, Curtis CF, Craig JM, Lloyd DH. Factors associated with elevated cutaneous *Malassezia pachydermatis* populations in dogs with pruritic skin disease. *J. Small Anim. Pract.* 1996;37(3):103–107. doi: 10.1111/j.1748–5827.1996.tb02353.x
9. Cafarchia C, Gallo S, Romito D, Capelli G, Chermette R, Guillot J, Otranto D. Frequency, body distribution, and population size of *Malassezia* species in healthy dogs and in dogs with localized cutaneous lesions. *J Vet Diagn Invest.* 2005;17(4):316–322.
10. Rudenko P, Vatnikov Y, Sachivkina N, Rudenko A, Kulikov E, Lutsay V, Notina E, Bykova I, Petrov A, Drukovskiy S, Olabode IR. Search for promising strains of probiotic microbiota isolated from different biotopes of healthy cats for use in the control of surgical infections. *Pathogens.* 2021;10(6):667. doi: 10.3390/pathogens10060667
11. 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
12. Gómez-García M, Madrigal I, Puente H, Mencía-Ares Ó, Argüello H, Carvajal A, Fregeneda-Grandes J.M. In vitro activity of essential oils against microbial isolates from otitis externa cases in dogs. *Nat Prod Res.* 2022;36(17):4552–4556. doi: 10.1080/14786419.2021.1993217
13. Sim JXF, Khazandi M, Chan WY, Trott DJ, Deo P. Antimicrobial activity of thyme oil, oregano oil, thymol and carvacrol against sensitive and resistant microbial isolates from dogs with otitis externa. *Vet Dermatol.* 2019;30(6):524–e159. doi: 10.1111/vde.12794
14. Sachivkina NP, Senyagin AN, Podoprigrora IV, Brown DG, Vissarionova VV. Modulating the antifungal activity of antimycotic drugs with farnesol. *Drug development & registration.* 2021;10(4):162–168. (In Russ.). doi: 10.33380/2305–2066–2021–10–4–162–168
15. Сачивкина Н.П., Сенягин А.Н., Подопригора И.В., Браун Д.Г., Виссарионова В.В. Модулирование противогрибковой активности антимикотических препаратов с помощью фарнезол // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2021;10(4):162–168. doi: 10.33380/2305–2066–2021–10–4–162–168
15. Sachivkina N, Podoprigrora I, Bokov D. Morphological characteristics of *Candida albicans*, *Candida krusei*, *Candida guilliermondii*, and *Candida glabrata* biofilms, and response to Farnesol. *Vet. World.* 2021;14(6):1608–1614. doi: 10.14202/vetworld.2021.1608–1614
16. Sachivkina N, Lenchenko E, Blumenkrants D, Ibragimova A, Bazarkina O. Effects of farnesol and lyticase on the formation of *Candida albicans* biofilm. *Vet. World.* 2020;13(6):1030–1036. doi: 10.14202/vetworld.2020.1030–1036
17. Vatnikov Y, Donnik I, Kulikov E, Karamyan A, Sachivkina N, Rudenko P, Tumanyan A, Khairova N, Romanova E, Gurina R, Sotnikova E, Bondareva I. Research on the antibacterial and antimycotic effect of the Phyto preparation Farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine. *Int. J. Pharm. Res.* 2020;12(Suppl.2):1481–1492. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP2.164
18. Sachivkina N, Senyagin A, Podoprigrora I, Vasilieva E, Kuznetsova O, Karamyan A, Ibragimova A, Zhabo N, Molchanova M. Enhancement of the antifungal activity of some antimycotics by farnesol and reduction of *Candida albicans* pathogenicity in a quail model experiment. *Veterinary World.* 2022;15(4): 848–854. doi: 10.14202/vetworld.2022.848–854
19. Sachivkina N, Podoprigrora I, Senyagin A, Ibragimova A, Avdonina M, Shvedova I. The use of Farnesol to increase the antifungal activity of some antibiotics against *Candida albicans*. *FEBS OPEN BIO.* 2022;12(Suppl.1):169. P-02.2–007. doi: 10.1002/2211–5463.13440
20. Sachivkina N, Karamyan A, Kuznetsova O, Ibragimova A, Ebzeeva A, Mussa R, Akimenkova A. The use of extracts *Tilia cordata* flowers and *Tripleurospermum inodorum* flowers against *Candida albicans* biofilms. *FEBS OPEN BIO.* 2021;11(Suppl.1):288. P-05.4–08. doi: 10.1002/2211–5463.13205
21. Mbarga MJA, Podoprigrora IV, Goriainov VS, Fadi H, Yashina NV, Zhigunova AV, Vasilyeva E.A., Senyagin A.N., Sachivkina N. Phytochemical Analysis, Antibacterial and Antibiofilm Activities of *Aloe vera* Aqueous Extract against Selected Resistant Gram-Negative Bacteria Involved in Urinary Tract Infections. *Fermentation.* 2022;8(11):626. doi: 10.3390/fermentation8110626
22. Sachivkina N, Vasilieva E, Lenchenko E, Kuznetsova O, Karamyan A, Ibragimova A, Zhabo N, Molchanova M. Reduction in Pathogenicity in Yeast-like Fungi by Farnesol in Quail Model. *Animals.* 2022;12(4):489. doi: 10.3390/ani12040489
23. Arfenia K, Sachivkina N, Liseitse A, Alabdallah Z, Byakhova V. Biochemical parameters of quail blood in experimental gastrointestinal tract candidiasis. *FEBS OPEN BIO.* 2022;12(Suppl.1):292. P-04.5–015. doi: 10.1002/2211–5463.13440

24. Theelen B, Cafarchia C, Gaitanis G, Bassukas ID, Boekhout T, Dawson TL. *Malassezia* ecology, pathophysiology, and treatment. *Med. Mycol.* 2018;56(Suppl.1):10–25. doi: 10.1093/mmy/myx134
25. Bond R, Lloyd DH, Plummer JM. Evaluation of a detergent scrub technique for the quantitative culture of *Malassezia pachydermatis* from canine skin. *Research in Veterinary Science.* 1995;58(2):1337. doi: 10.1016/0034-5288(95)90066-7
26. Bond R, Ferguson EA, Curtis CF, Craig JM, Lloyd DH. Factors associated with elevated cutaneous *Malassezia pachydermatis* populations in dogs with pruritic skin disease. *Journal of Small Animal Practice.* 1996;37(3):103–107. doi: 10.1111/j.1748-5827.1996.tb02353.x
27. Sachivkina N, Lenchenko E, Strizakov A, Zimina V, Gnesdilova L, Gavrillov V, Byakhova V, Germanova S, Zharov A, Molchanova M. The Evaluation of formation of biomembrane by microscopic Fungi of the *Candida* Genus. *Int. J. Pharm. Res.* 2018;10(4):738–744.
28. Sachivkina NP, Lenchenko EM, Mannapova RT Strizhakov AA, Romanova EV, Lukina DM. *Candida* Biofilm Modeling: Past and Present. *Farmatsiya.* 2019;68(3):18–22. (In Russ.). doi: 10.29296/25419218-2019-03-03
- Сачивкина Н.П., Ленченко Е.М., Маннапова Р.Т., Стрижаков А.А., Романова Н.В., Лукина Д.М. Моделирование биопленки *Candida*: прошлое и настоящее // Фармация. 2019. № 68(3). С. 18–22. doi: 10.29296/25419218-2019-03-03
29. Cannizzo FT, Eraso E, Ezkurra PA, Villar-Vidal M, Bollo E, Castellá G, Cabañes FJ, Vidotto V, Quindós G. Biofilm development by clinical isolates of *Malassezia pachydermatis*. *Med Mycol.* 2007;45(4):357–361. doi: 10.1080/13693780701225767
30. Yang HO, Cho YJ, Lee JM, Kim KD. Transcriptional interplay between *Malassezia restricta* and *Staphylococcus* species co-existing in the skin environment. *J Microbiol Biotechnol.* 2023;33(3):319. doi: 10.4014/jmb.2212.12026
31. Lee K, Zhang I, Kyman S, Kask O, Cope EK. Co-infection of *Malassezia sympodialis* With Bacterial Pathobionts *Pseudomonas aeruginosa* or *Staphylococcus aureus* Leads to Distinct Sinonasal Inflammatory Responses in a Murine Acute Sinusitis Model. *Front Cell Infect Microbiol.* 2020;10:472. doi: 10.3389/fcimb.2020.00472
32. Forster SL, Real T, Doucette KP, King SB. A randomized placebo-controlled trial of the efficacy and safety of a terbinafine, florfenicol and betamethasone topical ear formulation in dogs for the treatment of bacterial and/or fungal otitis externa. *BMC Vet. Res.* 2018;14:262. doi: 10.1186/s12917-018-1589-7
33. Yılmaz Öztürk B, Yenice Gürsu B, Dağ İ. In vitro effect of farnesol on planktonic cells and dual biofilm formed by *Candida albicans* and *Escherichia coli*. *Biofouling.* 2022;38(4):355–366. doi: 10.1080/08927014.2022.2066530
34. Namba AM, Santos ELS, Garcia MT, Ribeiro FC, Figueiredo-Godoi LMA, Rossoni RD, Junqueira JC. Farnesol as a potentiator of antimicrobial photodynamic inactivation on *Enterococcus faecalis*. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2022;39:102928. doi: 10.1016/j.pdpdt.2022.102928
35. Anyoutoulou KLD, Mbagra MJA, Podoprigora IV, Yashina NV, Zhigunova AV, Vasilyeva EA, Senyagin AN, Sachivkina N, Gizinger OA, Sharova IN, Das MS. Quorum-Sensing Inhibitors from Probiotics as a Strategy to Combat Bacterial Cell-to-Cell Communication Involved in Food Spoilage and Food Safety. *Fermentation.* 2022;8(12):711. doi: 10.3390/fermentation8120711
36. Ivanova A, Ivanova K, Fiandra L, Mantecca P, Catelani T, Natan M, Banin E, Jacobi G, Tzanov T. Antibacterial, Antibiofilm, and Antiviral Farnesol-Containing Nanoparticles Prevent *Staphylococcus aureus* from Drug Resistance Development. *Int J Mol Sci.* 2022;23(14):7527. doi: 10.3390/ijms23147527
37. Mahendrarajan V, Bari VK. A critical role of farnesol in the modulation of Amphotericin B and Aureobasidin A antifungal drug susceptibility. *Mycology.* 2022;13(4):305–317. doi: 10.1080/21501203.2022.2138599
38. Bond R, Anthony RM. Characterization of markedly lipid-dependent *Malassezia pachydermatis* isolates from healthy dogs. *Journal of Applied Bacteriology.* 1995;78(5): 537–542. doi: 10.1111/j.1365-2672.1995.tb03096.x
39. Bond R, Lloyd D. Comparison of media and conditions of incubation for the quantitative culture of *Malassezia pachydermatis* from canine skin. *Research in Veterinary Science.* 1996;61(3):273–274. doi: 10.1016/S0034-5288(96)90078-8
40. Chiavassa E, Tizzani P, Peano A. In vitro antifungal susceptibility of *Malassezia pachydermatis* strains isolated from dogs with chronic and acute otitis externa. *Mycopathologia.* 2014;178:315–319. doi: 10.1007/s11046-014-9782-0
41. Angileri M, Pasquetti M, De Lucia M, Peano A. Azole resistance of *Malassezia pachydermatis* causing treatment failure in a dog. *Med. Mycol. Case Rep.* 2019;23:58–61. doi: 10.1016/j.mmcr.2018.12.004

42. Bismark D, Dusold A, Heusinger A, Muller E. Antifungal in vitro activity of essential oils against clinical isolates of *Malassezia pachydermatis* from canine ears: a report from a practice laboratory. *Complement. Med. Res.* 2019;27(3):143–154. doi: 10.1159/000504316

43. Bohmova E, Conkova E, Harcarova M, Sihelska Z. Interactions between clotrimazole and selected essential oils against *Malassezia pachydermatis* clinical isolates. *Pol. J. Vet. Sci.* 2019;22(1):173–175. doi: 10.24425/pjvs.2019.127082

About authors:

Olabode Ifarajimi Rapheal — postgraduate 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

Sachivkina Nadezhda Pavlovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Microbiology, Medical Institute, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: sachivkina@yandex.ru

ORCID: 0000–0003–1100–929X; SPIN: 1172–3163

Kiseleva Ekaterina Vasilyevna — veterinarian, Nikulin Circus on Tsvetnoy Boulevard, 13 Tsvetnoy Boulevard, Moscow, 127051, Russian Federation; postgraduate student, Department of Zoology and Animal Ecology, Pskov State University, 21 Sovetskaya st., Pskov, 180000, Russian Federation; e-mail: kirsanovakaterina@yandex.ru
ORCID: 0000–0002–4907–9384;

Shurov Alexey Igorevich — postgraduate student, Department of Veterinary Medicine, veterinarian, Center for Veterinary Innovative Medicine, Agrarian and Technological Institute, RUDN University, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: shurov_ai@rudn.university

ORCID: 0000–0003–2289–9814; SPIN: 9286–9577


Эффективность применения Фарнезола для лечения отитов собак, осложненных *Malassezia pachydermatis*

И.Р. Олабодэ¹  , Н.П. Сачивкина¹ ,
Е.В. Киселёва^{2,3} , А.И. Щуров¹ 

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

²Псковский государственный университет, г. Псков, Российская Федерация

³Цирк Никулина на Цветном бульваре, г. Москва, Российская Федерация

 1042205126@rudn.ru

Аннотация. В исследовании было задействовано 30 собак с отитом, осложненным *Malassezia pachydermatis*. Животных разделили на 2 группы: опытную (n = 15) и контрольную (n = 15). Опытной группе были назначены капли ушные ветеринарные Суrolан + раствор препарата Фарнезол; контрольной — Суrolан. В ходе исследования показано, что при добавлении Фарнезола в схему лечения отитов грибковой этиологии у собак регистрируются небольшие изменения клинического состава крови, характеризующиеся увеличением количества эритроцитов и гемоглобина, снижением числа лейкоцитов; в то же время снижаются показатели эозинофилов и палочкоядерных нейтрофилов в опыте по сравнению с контролем. Кроме того, доказано полное отсутствие *Malassezia pachydermatis* в мазках ушного содержимого после двухнедельной терапии сочетанным препаратом. Т.е. в опытной группе не было зарегистрировано ни одного случая присутствия дрожжеподобных грибов (ДПГ) в мазке после сочетанной терапии Суrolан + Фарнезол, а в контрольной группе из 15 животных у двух при микроскопии мазков ушного экссудата ДПГ наблюдались, но не в большой концентрации. Использование комбинации Суrolана и Фарнезола у собак опытной группы привело к уменьшению гиперемии, зуда, отека, ушной зловонной жидкости на 5...7 дни лечения, а полное клиническое выздоровление животных наступало к 10...14 дню терапии. В контрольной группе использовался только Суrolан и улучшение клинического состояния наступало на 12...14 дни, а выздоровление — только по завершении полного курса. В итоге обе схемы лечения ока-

зались успешными, однако схема с Фарнезолом дала более быстрые результаты, обусловленные широким спектром действия этого препарата: антимикробным и противовоспалительным.

Ключевые слова: дрожжеподобные грибы, микозы, клинический анализ крови, фитотерапия, Суrolан

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. У авторов нет рекламных целей. Используемые препараты приобретались: Суrolан — в ветеринарной аптеке, Фарнезол — в московском представительстве фирмы Sigma-Aldrich.

Вклад авторов: Н.П. Сачивкина и Е.В. Киселёва придумали идею и дизайн исследования; И.Р. Олабодэ осуществлял сбор и обработку материалов; И.Р. Олабодэ и А.И. Щуров выполняли анализ полученных данных; Н.П. Сачивкина написала текст статьи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 12 февраля 2023 г., принята к публикации 22 марта 2023 г.

Для цитирования: *Olabode I.R., Sachivkina N.P., Kiseleva E.V., Shurov A.I. Effectiveness of Farnesol for treatment of dog otitis complicated by Malassezia pachydermatis // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 250—263. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-250-263*

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

Сачивкина Надежда Павловна — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры микробиологии им. В.С. Киктенко медицинского института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: sachivkina@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-1100-929X; SPIN-код: 1172-3163

Киселева Екатерина Васильевна — ветеринарный врач, Цирк Никулина на Цветном бульваре, Российская Федерация, 127051, г. Москва, Цветной бульвар, д. 13; аспирант кафедры зоологии и экологии животных, Псковский государственный университет, Российская Федерация, 180000, г. Псков, ул. Советская, д. 21; e-mail: kirsanovakaterina@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-4907-9384

Щуров Алексей Игоревич — аспирант департамента ветеринарной медицины, врач центра ветеринарной инновационной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8 корп. 2; e-mail: shurov_ai@rudn.university
ORCID: 0000-0003-2289-9814; SPIN-код: 9286-9577








DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-264-272

EDN RYVKKD

УДК 619:618.96:569.822.2–086


Научная статья / Research article

Особенности течения гепатокардиального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек

Е.Д. Сотникова¹  , О.А. Петрухина¹ ,
В.М. Бяхова¹ , В.Д. Сибирцев² 

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

²Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

 sotnikova-ed@rudn.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы изменения клинических, лабораторных и инструментальных параметров у кошек при развитии гепатокардиального синдрома, который сформировался на фоне гипертрофической кардиомиопатии. Известно, что у высокопородистых кошек при развитии застойной сердечной недостаточности может развиваться и прогрессировать вторичная гепатопатия. Показано, что гепатокардиальный синдром встречается у 33,7 % кошек от общего числа больных гипертрофической кардиомиопатией ($n = 83$). Установлено, что гепатокардиальные осложнения у кошек являются фактором риска более тяжелого течения гипертрофической кардиомиопатии. Гепатокардиальный синдром у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек характеризуется тяжелой гипотермией, недостаточностью кровообращения и респираторной системы. У больных животных регистрировали повышение частоты дыхания во сне ($33,3 \pm 9,3$ против $17,9 \pm 1,8$ раз/мин; $p < 0,001$). У домашних кошек при гепатокардиальном синдроме развивается снижение среднего артериального давления крови ($100,2 \pm 19,3$ против $107,2 \pm 19,1$ мм рт. ст; $p < 0,05$), синусовая тахикардия ($200,3 \pm 19,6$ против $187,2 \pm 17,8$ раз/мин; $p < 0,001$), что приводит к достоверному снижению интервалов PQ ($57,9 \pm 9,9$ против $64,9 \pm 9,9$ мс; $p < 0,001$) и QT ($168,9 \pm 17,2$ против $157,5 \pm 18,6$ мс; $p < 0,001$). У больных кошек установлено существенное повышение времени обратного наполнения капилляров кровью, замедление внутрижелудочковой проводимости, повышение вольтажа желудочкового и предсердного комплекса на электрокардиограммах, расширение легочной вены, значительная дилатация левого предсердия, экстремальная концентрическая гипертрофия левого желудочка, повышение поперечной сократимости миокарда левого желудочка и снижение продольной контрактильности миокарда левого и правого желудочка, синдром цитолиза кардиомиоцитов, холестаза, а также гипоальбуминемия.

Ключевые слова: кардиология, гепатология, диагностика, сердечная недостаточность, гепатопатия

© Сотникова Е.Д., Петрухина О.А., Бяхова В.М., Сибирцев В.Д., 2023



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

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

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 22–26–00184) <https://rscf.ru/project/22–26–00184/>

История статьи: поступила в редакцию 12 августа 2022 г., принята к публикации 25 апреля 2023 г.

Для цитирования: Сотникова Е.Д., Петрухина О.А., Бяхова В.М., Сибирцев В.Д. Особенности течения гепатокардиального синдрома у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 264–272. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-264-272

Features of the course of hepatocardial syndrome in cats with hypertrophic cardiomyopathy

Elena D. Sotnikova¹  , Olesya A. Petrukhina¹ ,
Varvara M. Byakhova¹ , Vladimir D. Sibirtsev² 

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation

*sotnikova-ed@rudn.ru

Abstract. The issues of changes in clinical, laboratory and instrumental parameters in cats with hepatocardial syndrome formed against the background of hypertrophic cardiomyopathy were studied. It is known that in high-bred cats with congestive heart failure, secondary hepatopathy can develop and progress. It was shown that hepatocardial syndrome occurs in 33.7 % of cats, out of the total number of patients with hypertrophic cardiomyopathy (n = 83). It has been established that hepatocardial complications in cats are a risk factor for a more severe course of hypertrophic cardiomyopathy. Hepatocardial syndrome in cats with hypertrophic cardiomyopathy is characterized by severe hypothermia, circulatory and respiratory failure. In sick animals, an increase in frequency of breathing during sleep was recorded (33.3±9.3 versus 17.9±1.8 times/min; p < 0.001). Domestic cats with hepatocardial syndrome had a decrease in mean arterial blood pressure (100.2±19.3 versus 107.2±19.1 mm Hg; p < 0.05), sinus tachycardia (200.3±19.6 versus 17.8 times/min; p < 0.001), which leads to a significant decrease in PQ intervals (57.9±9.9 versus 64.9±9.9 ms; p < 0.001) and QT intervals (168.9±17, 2 vs 157.5±18.6 ms; p < 0.001). Sick cats had a significant increase in the time of refilling of capillaries with blood, slowdown in intraventricular conduction, increase in voltage of ventricular and atrial complex on electrocardiograms, expansion of pulmonary vein, significant dilatation of left atrium, extreme concentric hypertrophy of left ventricle, increase in transverse contractility of myocardium of left ventricle and decrease in longitudinal contractility myocardium of left and right ventricles, cardiomyocyte cytolysis syndrome, cholestasis, and hypoalbuminemia.

Keywords: cardiology, hepatology, diagnostics, heart failure, hepatopathy

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

Acknowledgments: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project no. 22–26–00184) <https://rscf.ru/project/22–26–00184/>

Article history: Received: 12 August 2022. Accepted: 25 April 2023.

For citation: Sotnikova ED, Petrukhina OA, Byakhova VM, Sibirtsev VD. Features of the course of hepatocardial syndrome in cats with hypertrophic cardiomyopathy. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2):264–272. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-264-272

Введение

Кардиомиопатии и гепатопатии чрезвычайно распространены у высокопородистых животных и представляют собой потенциально летальную патологию [1–5]. В клинической практике нередко складываются ситуации для одновременного течения болезней сердца и печени [2, 6]. В таком случае говорят о гепатокардиальном синдроме, который представляет собой надзологическую проблему формирования мультиморбидности [7, 8]. Гепатокардиальный синдром может возникать как осложнение и первичной печеночной [6], и сердечной патологии [2, 7]. Метаболические заболевания, например у высокопродуктивных коров могут инициировать развития гепатокардиального синдрома [8]. Считается, что системное воспаление, оксидативный стресс, эндогенная интоксикация, иммунные и аутоиммунные процессы могут лежать в основе патогенеза развития гепатокардиальных осложнений у животных [9–12]. Гепатокардиальный синдром у кошек при первичной патологии миокарда, вызванного гипертрофической кардиомиопатией, не представлен в научной литературе.

Целью нашего исследования — эмпирически и теоретически дать клинико-патогенетическую характеристику течения гепатокардиального синдрома у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией.

Материалы и методы исследования

При анализе литературных данных по оценке показателей у высокопородистых кошек установлено, что соотношение клинически значимой разности групповых средних значений к стандартному отклонению должно составлять не менее 0,9 [11]. Тогда при уровне статистической значимости 0,05 и мощности исследования 0,80 минимальный объем выборки должен составлять не менее 20 как в опытной, так и в контрольной группе. В исследование вошли кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией, осложненным гепатокардиальным синдромом ($n = 28$), а также свободные от гепатокардиальных осложнений ($n = 55$). В качестве контрольной группы использовали здоровых кошек ($n = 20$) аналогичного возраста, массы тела. Клинические методы исследований проводили по стандартной методике [6, 11, 12]. Оценивали показатели респираторной функции [2]. Тонometriю высокого разрешения проводили на *PetMAP graphic II* [13]. Среднее артериальное давление определяли по общепринятой методике [6]. Электрокардиографическую диагностику проводили на *EKT-04 Mudac* [2]. Эхокардиографические методы исследований проводили сканером *Mindray DP-60* с датчиком *P10-4E* [7]. Биохимические исследования сывороток крови проводили на *Stat Fax 1904 Plus* с использованием стандартных биохимических наборов [4, 8]. Концентрацию сердечного тропонина в сыворотке крови на анализаторе *Architect i2000* методом хемилюминесцентного иммуноанализа на микрочастицах [2, 8]. Степень выраженности застойной левожелудочковой недо-

статочности кровообращения оценивали по размеру легочной вены (ЛВ) и правой ветви легочной артерии (ПВЛА) [10]. Характеристику ремоделирования сердца описывали по унифицированной методике [13, 14]. Оценивали как поперечную, так и продольную контрактильность левых (MAPSE_{лж} и MAPSE_{мжп}) и правых камер сердца [15, 16]. Математическую обработку проводили с использованием программного обеспечения STATISTICA 7.0 [17]. Применяли критерий Манна — Уитни, рассчитывали стандартное отклонение (SD) и 95 % доверительный интервал (95 % confidence interval — 95 % CI) [18, 19].

Результаты исследований и обсуждение

В эксперимент вошли 83 кошки, больные гипертрофической кардиомиопатией. Распространенность гепатокардиального синдрома у кошек при гипертрофической кардиомиопатии составила 33,7 %. Клинические показатели разных групп животных приведены в табл. 1.

Таблица 1

Клинические показатели у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией, осложненной гепатокардиальным синдромом

Показатель	Здоровые кошки (n = 20)		Больные гипертрофической кардиомиопатией кошки			
			Свободные от гепатокардиального синдрома (n = 55)		Гепатокардиальный синдром (n = 28)	
	M ± SD	95 % CI	M ± SD	95 % CI	M ± SD	95 % CI
Температура, °C	38,5 ± 0,3	38,3...38,6	38,1 ± 0,8	37,9...38,3	37,8 ± 0,9**	37,4...38,1
Пульс, мин ⁻¹	171,4 ± 12,4	165...177	187,2 ± 17,8***	182...191	200,3 ± 19,6***#	192...207
Дыхание, мин ⁻¹	32,2 ± 3,0	30,8...33,6	40,9 ± 14,4*	37,0...44,8	54,5 ± 20,0***##	46,8...62,3
Дыхание во сне, мин ⁻¹	17,9 ± 1,8	16,9...18,7	25,7 ± 7,8***	23,6...27,7	33,3 ± 9,3***###	29,6...36,9
ВОНКК, с	1,3 ± 0,4	1,1...1,4	1,8 ± 0,7**	1,6...2,0	2,1 ± 0,7***	1,8...2,4
САД, мм рт.ст.	160,0 ± 8,6	156...164	154,9 ± 24,9	148...161	147,2 ± 28,9	136...158
ДАД, мм рт.ст.	84,1 ± 10,9	79...89	82,9 ± 17,6	78...87	76,8 ± 25,4	67...87
СрАД, мм рт.ст.	109,3 ± 9,3	105...114	107,2 ± 19,1	102...112	100,2 ± 9,3*	90...110

Примечание. ВОНКК — время обратного наполнения капилляров кровью; САД — систолическое артериальное давление; ДАД — диастолическое артериальное давление; СрАД — среднее артериальное давление; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — достоверность разницы между показателями опытных групп животных и клинически здоровыми (критерий Манна — Уитни); # — $p < 0,05$; ## — $p < 0,01$; ### — $p < 0,001$ — достоверность разницы между показателями опытных групп животных (критерий Манна — Уитни).

Согласно данным табл. 1, у кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией без осложнений в виде гепатокардиального синдрома, по сравнению со здоровыми животными, установлено достоверное повышение: частоты пульса (в 1,09 раза; $p < 0,001$), частоты дыхания на приеме в клинике (в 1,27 раза; $p < 0,05$) и во время сна (в 1,43 раза, $p < 0,001$), времени обратного наполнения капилляров кровью (ВОНКК; в 1,38 раза; $p < 0,01$). У больных гипертрофической кардиомиопатией

кошек с гепатокардиальным синдромом по сравнению интактными животными регистрировали: достоверное снижение ректальной температуры тела (на 0,7 °С; $p < 0,01$) и среднего артериального давления (СрАД; на 9,1 мм рт.ст.; $p < 0,05$), достоверное повышение частоты пульса (в 1,17 раза; $p < 0,001$), частоты дыхания во время обследования в клинике (1,7 раза; $p < 0,001$) и во время сна (в 1,86 раза; $p < 0,001$), ВОНКК (в 1,62 раза; $p < 0,001$). У больных кошек с гепатокардиальным синдромом по сравнению с животными свободными от такового осложнения установлено достоверное повышение частоты пульса, дыхания во сне и на приеме в клинике, ВОНКК.

В табл. 2 приведены результаты электрокардиографических исследований у кошек при формировании гепатокардиальных осложнений на фоне первичной патологии в виде гипертрофической кардиомиопатии.

Таблица 2

Электрокардиографические показатели у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек, осложненной гепатокардиальным синдромом

Показатель	Здоровые кошки (n=20)		Больные гипертрофической кардиомиопатией кошки			
			Свободные от гепатокардиального синдрома (n=55)		Гепатокардиальный синдром (n=28)	
	M±SD	95 % CI	M±SD	95 % CI	M±SD	95 % CI
P, мс	35,8±3,4	34,1...37,4	34,3±3,5	33,4...35,3	33,0±3,5**	31,7...34,4
PQ, мс	64,9±9,9	60,2...69,5	58,8±11,8*	55,6...62,0	57,9±9,9**	54,0...61,7
QRS, мс	38,1±4,7	35,9...40,3	44,2±9,6**	41,7...46,8	49,3±7,7***#	46,3...52,2
QT, мс	157,5±18,6	149...166	163,4±16,7	159...168	168,9±17,2*	162...176
P _{II} , мВ	0,13±0,05	0,10...0,15	0,12±0,05	0,11...0,14	0,17±0,06*##	0,14...0,19
R _{II} , мВ	0,41±0,17	0,33...0,49	0,59±0,33*	0,49...0,68	0,68±0,27***	0,58...0,78
S _{II} , мВ	0,03±0,04	0,01...0,05	0,05±0,06	0,03...0,06	0,06±0,08	0,03...0,09
ST, мВ	0,01±0,02	-0,01...0,02	-0,01±0,05	-0,02...0,01	-0,01±0,07	-0,04...0,02
T, мВ	0,15±0,06	0,12...0,18	0,19±0,08	0,17...0,21	0,16±0,07	0,13...0,18

Примечание. P – ширина предсердного комплекса; PQ – параметр атриовентрикулярной проводимости; QRS – ширина вентрикулярного комплекса; QT – показатель электрической систолы желудочков сердца; P_{II}, R_{II}, S_{II}, T_{II} – вольтаж зубцов P, R, S, T во II стандартном электрокардиографическом отведении; ST – отклонение сегмента ST от нулевой линии; * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями опытных групп животных и клинически здоровыми (критерий Манна – Уитни); # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями опытных групп животных (критерий Манна – Уитни).

На электрокардиограммах кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией (см. табл. 2), без осложнений в виде гепатокардиального синдрома, по сравнению со здоровыми животными, установлено достоверное снижение продолжительности интервала PQ, повышение продолжительности комплекса QRS, вольтажа зубца R. На электрокардиограммах больных гипертрофической кардиомиопатией кошек с гепатокардиальным синдромом по сравнению со здоровыми животными выявляли достоверное снижение продолжительности предсердного комплекса (зубец P) и времени атриовентрикулярной проводимости (интервала PQ), достоверное

увеличение времени электрической систолы желудочков сердца (интервал QT), вольтажа предсердного (PII) и желудочкового комплекса (RII). Гепатокардиальные осложнения приводили к более значимым изменениям показателей QRS и PII на электрокардиограммах больных гипертрофической кардиомиопатией кошек.

Результаты исследований по изменению основных эхокардиографических параметров приведены в табл. 3.

Таблица 3

Эхокардиографические показатели у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек, осложненной гепатокардиальным синдромом

Показатель	Здоровые кошки (n=20)		Больные гипертрофической кардиомиопатией кошки			
			Свободные от гепатокардиального синдрома (n=55)		Гепатокардиальный синдром (n=28)	
	M±SD	95 % CI	M±SD	95 % CI	M±SD	95 % CI
ЛВ, см	3,3±0,9	2,9...3,7	5,6±2,1***	4,8...6,3	8,0±2,1***###	7,2...8,8
ПВЛА, см	4,2±1,1	3,7...4,7	4,9±1,0	4,6...5,2	5,5±0,6**	5,2...5,7
Ао, см	0,91±0,11	0,85...0,96	0,98±0,11	0,98...1,01	0,99±0,13	0,94...1,04
ЛП, см	0,94±0,42	0,74...1,13	1,64±0,49***	1,51...1,77	1,95±0,53***###	1,75...2,16
МЖПд, см	0,39±0,07	0,36...0,43	0,71±0,12***	0,68...0,74	0,81±0,11***###	0,76...0,85
МЖПс, см	0,69±0,08	0,64...0,72	1,14±0,21***	1,08...1,19	1,30±0,19***###	1,23...1,37
ТСЛЖд, см	0,37±0,06	0,34...0,40	0,71±0,10***	0,69...0,74	0,75±0,06***###	0,73...0,77
ТСЛЖс, см	0,65±0,07	0,61...0,69	1,19±0,19***	1,14...1,24	1,37±0,19***###	1,29...1,44
КДР, см	1,49±0,12	1,44...1,54	1,44±0,16	1,40...1,49	1,50±0,18	1,43...1,57
КСР, см	0,73±0,08	0,68...0,76	0,59±0,13***	0,55...0,64	0,56±0,09***	0,53...0,60
ФУ%	51,3±5,9	48,5...54,0	58,6±11,0**	55,6...61,6	61,7±8,1***###	58,5...64,8
TAPSE, см	9,5±1,0	9,0...9,9	7,8±1,5***	7,4...8,2	6,9±1,1***###	6,5...7,4
MAPSEслж, см	5,4±1,2	4,8...5,9	4,4±1,2**	4,1...4,8	3,8±0,8***###	3,5...4,1
MAPSEмжп, см	5,3±0,9	4,8...5,7	4,3±0,9**	4,1...4,6	3,7±0,9***###	3,3...4,0

Примечание. ЛВ – легочная вена; ПВЛА – правая ветвь легочной артерии; ЛП – левое предсердие; Ао – аорта; МЖПд; МЖПс – межжелудочковая перегородка в диастолу и систолу; СЛЖд, СЛЖс – свободная стенка левого желудочка в диастолу и систолу; КДР, КСР – конечно-диастолический и конечно-систолический размер камеры левого желудочка; ФУ – фракция укорочения; TAPSE, MAPSEслж и MAPSEмжп – амплитуда систолического движения фиброзного кольца трикуспидального, митрального клапана в проекции свободной стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки; * – p < 0,05; ** – p < 0,01; *** – p < 0,001 – достоверность разницы между показателями опытных групп животных и клинически здоровыми (критерий Манна – Уитни); # – p < 0,05; ## – p < 0,01; ### – p < 0,001 – достоверность разницы между показателями опытных групп животных (критерий Манна – Уитни).

На эхокардиограммах больных гипертрофической кардиомиопатией кошек без гепатокардиальных осложнений (см. табл. 3) по сравнению с группой клинически здоровых животных установлено достоверное увеличение ЛВ, ЛП, МЖПд, МЖПс, ТСЛЖд, ТСЛЖс, ФУ, достоверное уменьшение КСР, TAPSE, MAPSE(слж) и MAPSE(мжп). У кошек, больных гепатокардиальным синдромом, который возник как осложнение гипертрофической кардиомиопатии, по сравнению со здоровыми животными установлено достоверное увеличение ЛВ, ПВЛА, ЛП, МЖПд, МЖПс, ТСЛЖд, ТСЛЖс, ФУ, достоверное уменьшение КСР, TAPSE, MAPSEслж и MAPSEмжп. Следует отметить, что факт развития гепатокардиальных осложнений

больных кошек индуцировал более значимый венозный застой в системе легочной вены (достоверное повышение ЛВ), дилатацию левого предсердия (достоверное увеличение ЛП), концентрическую гипертрофию левого желудочка (достоверное увеличение МЖПд, МЖПс, ТСЛЖд, ТСЛЖс), повышение поперечной contractильности миокарда левого желудочка (достоверное увеличение ФУ), снижение продольной сократимости миокарда левого (MAPSEлж и MAPSEмжп) и правого желудочка (TAPSE).

Дальнейшими исследованиями установлены биохимические параметры сыворотки крови больных гипертрофической кардиомиопатией кошек в зависимости от наличия гепатокардиального синдрома (табл. 4).

Таблица 4

Биохимические показатели сыворотки крови у больных гипертрофической кардиомиопатией кошек, осложненной гепатокардиальным синдромом

Показатель	Здоровые кошки (n=20)		Больные гипертрофической кардиомиопатией кошки			
			Свободные от гепатокардиального синдрома (n=55)		Гепатокардиальный синдром (n=28)	
	M ± SD	95 % CI	M ± SD	95 % CI	M ± SD	95 % CI
Общий белок, г/л	68,4 ± 6,6	65,3...71,5	69,7 ± 6,7	65,3...71,5	71,0 ± 5,1	69,0...72,9
Альбумины, г/л	31,2 ± 3,2	29,7...32,7	30,5 ± 3,8	29,4...31,5	28,2 ± 3,9***	26,6...29,7
АЛТ, ед/л	50,6 ± 12,0	44,9...56,2	59,2 ± 22,2*	53,2...65,2	122,4 ± 20,6****	114,4...130,4
АСТ, ед/л	29,7 ± 7,6	26,1...33,2	68,4 ± 41,5***	57,3...79,7	79,4 ± 35,8****	65,4...93,2
ЩФ, ед/л	34,5 ± 11,3	29,2...39,8	42,2 ± 15,2*	38,0...46,5	49,6 ± 24,5**	40,1...59,2
Тропонин, нг/мл	0,03 ± 0,03	0,01...0,03	0,21 ± 0,11***	0,17...0,23	0,25 ± 0,10****	0,22...0,29
Мочевина, ммоль/л	6,8 ± 1,7	6,0...7,6	9,6 ± 4,7*	8,3...10,9	12,5 ± 4,5*****	10,8...14,3
Креатинин, мкмоль/л	91,9 ± 17,8	83,6...100,3	145,8 ± 56,5***	130,5...161,1	189,2 ± 80,3*****	158,1...220,4

Примечание: * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями опытных групп животных и клинически здоровыми (критерий Манна – Уитни); # – $p < 0,05$; ## – $p < 0,01$; ### – $p < 0,001$ – достоверность разницы между показателями опытных групп животных (критерий Манна – Уитни).

В сыворотке крови кошек, больных гипертрофической кардиомиопатией без гепатокардиального синдрома (см. табл. 4), по сравнению с группой клинически здоровых животных установлено достоверное повышение активности АЛТ, АСТ, ЩФ, концентрации тропонина, мочевины и креатинина. У кошек, больных гепатокардиальным синдромом, который возник как осложнение гипертрофической кардиомиопатии, по сравнению со здоровыми животными установлено достоверное повышение сывороточной активности АЛТ, АСТ, ЩФ, сывороточной концентрации тропонина, мочевины и креатинина, снижение сывороточной концентрации альбуминов. Следует отметить, что наличие гепатокардиального синдрома у больных кошек характеризовалось более значимыми биохимическими изменениями.

Заключение

Гепатокардиальный синдром у кошек, возникший как осложнение на фоне гипертрофической кардиомиопатии, характеризуется тяжелым течением, гипотермией, выраженным тахипноэ, тахикардией, повышением времени обратного наполнения капилляров кровью, замедлением внутрижелудочковой проводимости, повышением вольтажа предсердного и желудочкового комплекса на электрокардиограммах, расширением легочной вены, значительной дилатацией левого предсердия, экстремальной концентрической гипертрофией левого желудочка, повышением поперечной контрактильности миокарда левого желудочка и снижением продольной сократимости миокарда левого и правого желудочка, синдромом цитолиза кардиомиоцитов, холестазом, гипоальбуминемией. Гепатокардиальные осложнения у кошек являются маркером более тяжелого течения гипертрофической кардиомиопатии.

Библиографический список

1. Руденко А.А., Руденко П.А., Руденко В.Б. Клиническая диагностика при дилатационной кардиомиопатии у собак // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 1(45). С. 62–69. doi: 10.18286/1816–4501–2019–1–62–69
2. Руденко А.А., Ватников Ю.А., Руденко П.А., Селезнев С.Б., Куликов Е.В. Эндокардиоз атриовентрикулярных клапанов сердца у собак. М.: РУДН, 2022. 241 с.
3. Усенко Д.С., Руденко А.Ф., Руденко А.А. Биохимические показатели сыворотки крови у кошек при холангиогепатите // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4(48). С. 101–109. doi: 10.18286/1816–4501–2019–4–101–109
4. Ватников Ю.А., Куликов Е.В., Попова И.А., Сахно Н.В., Петряева А.В., Лыхина В.С., Газин А.А. Изменение клинических и биохимических показателей крови при хроническом гепатите у собак // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2(137). С. 62–69.
5. Попова И.А., Ватников Ю.А. Динамика развития анемии при поражениях печени у собак // Ветеринария. 2020. № 1. С. 16–20. doi: 10.30896/0042–4846.2020.23.1.16–20
6. Ватников Ю.А., Сотникова Е.Д., Бяхова В.М., Петрухина О.А., Семёнова В.И., Руденко А.А. Клинико-патогенетическая характеристика гепатокардиального синдрома у собак на фоне гепатоза // Ветеринария. 2023. № 4. С. 40–46. doi: 10.30896/0042–4846.2023.26.4.40–45
7. Ватников Ю.А., Сотникова Е.Д., Бяхова В.М., Петрухина О.А., Матвеев А.В., Родионова Н.Ю., Руденко А.А. Особенности развития гепатокардиального синдрома у собак с дилатационной кардиомиопатией // Ветеринария. 2022. № 10. С. 52–57. doi: 10.30896/0042–4846.2022.25.10.52–57
8. Vatnikov Y., Rudenko A., Gnezdilova L., Sotnikova E., Vyakhova V., Piven E., Kulikov E. Petrov A., Drukovskiy S., Petrukhina O. Clinical and diagnostic characteristics of the development of hepatocardial syndrome in black and white cows in the early lactation period // Veterinary World. 2022. Vol. 15. No. 9. P. 2259–2268. doi: 10.14202/vetworld.2022.2259–2268
9. Руденко П.А., Ватников Ю.А., Руденко А.А., Селезнев С.Б., Куликов Е.В. Патогенетические особенности воспалительных процессов у кошек. М.: РУДН, 2020. 219 с.
10. Руденко А.А. Цитокиновый профиль сыворотки крови у собак с эндокардиозом митрального клапана // Ветеринария. 2017. № 10. С. 49–55.
11. Ватников Ю.А., Руденко А.А., Руденко П.А., Кузнецов В.В., Ягников С.А. Факторы риска развития струвитного уролитиаза у домашних кошек // Вестник КрасГАУ. 2020. № 11(164). С. 122–129. doi: 10.36718/1819–4036–2020–11–122–129
12. Юлдашбаев Ю.А., Ватников Ю.А., Руденко П.А., Руденко А.А. Особенности функционального состояния организма овец при стрессе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 193–202. doi: 10.22363/2312–797X–2022–17–2–193–202
13. Коркоц Д.А., Ватников Ю.А., Руденко А.А., Руденко П.А. Патологическая характеристика развития артериальной гипертензии у йоркширских терьеров при алиментарном ожирении // Аграрная наука. 2021. № 9. С. 30–34. doi: 10.32634/0869–8155–2021–352–9–30–34

14. Руденко А.А., Руденко П.А., Ватников Ю.А., Язников С.А., Куликов Е.В., Кузнецов В.И. Информативность эхокардиографического и гематологического скрининга кошек перед проведением общей анестезии // Ветеринария. 2020. № 8. С. 53–57. doi: 10.30896/0042–4846.2020.23.8.53–57
15. Руденко А.А., Ватников Ю.А., Сотникова Е.Д., Руденко П.А. Оценка линейных эхокардиографических показателей у собак при эндокардиозе атриовентрикулярных клапанов сердца // Ветеринария. 2021. № 1. С. 53–59. doi: 10.30896/0042–4846.2021.24.1.53–59
16. Сахно Н.В., Тимохин О.В., Ватников Ю.А., Куликов Е.В., Стрижаков А.А., Гнездилова А.А. К технике инокуляции инфицированного и патологического материала лабораторным животным // Вестник КрасГАУ. 2017. № 3(126). С. 41–51.
17. Ватников Ю.А., Руденко П.А., Руденко А.А., Куликов Е.В., Кузнецов В.И., Селезнев С.Б. Клинико-терапевтическое значение микробиоты при гнойно-воспалительных процессах у животных // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 286–291. doi: 10.17238/issn2072–2419.2021.1.286
18. Ватников Ю.А., Руденко П.А., Бугров Н.С., Руденко А.А. Оценка эффективности терапии компенсированного дисбактериоза кишечника у кошек // Аграрная наука. 2022. № 1. С. 24–29. doi: 10.32634/0869–8155–2022–355–1–24–29
19. Руденко П.А., Руденко В.Б., Руденко А.А., Хохлова О.Н., Ржевский Д.И., Казаков В.А., Паликов В.А., Позябин С.В., Дьяченко И.А. Физико-химические свойства и механизмы действия наночастиц диоксида кремния // Экспериментальная и клиническая фармакология. 2022. Т. 85. № 1. С. 27–31. doi: 10.30906/0869–2092–2022–85–1–27–31

Об авторах:

Сотникова Елена Дмитриевна — кандидат биологических наук, доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов (РУДН), Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: sotnikova-ed@rudn.ru

ORCID: 0000–0003–1253–1573

Петрухина Олеся Анатольевна — кандидат ветеринарных наук, ассистент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов (РУДН), Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: petrukhina-oa@rudn.ru

ORCID: 0000–0002–9102–2891

Бяхова Варвара Михайловна — кандидат ветеринарных наук, доцент департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов (РУДН), Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: byakhova-vm@rudn.ru

ORCID: 0000–0001–6041–2144

Сибирцев Владимир Дмитриевич — аспирант кафедры ветеринарной медицины, Российский биотехнологический университет, Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; e-mail: Sibircev_vd@mail.ru

ORCID: 0009–0002–5302–3321



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-273-281
EDN TTSRET
УДК 57:619:591.2


Научная статья / Research article

Молекулярно-биологический маркер Bcl-2: анализ семенников при пренатальном введении эстрогенов белым лабораторным мышам

Р.Т. Сулайманова¹  , А.Н. Квочко² 

¹ Университет «РЕАВИЗ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Ставропольский государственный аграрный университет,
г. Ставрополь, Российская Федерация

 rimma2006@bk.ru

Аннотация. В практической ветеринарной деятельности, а также в научных разработках при дифференциальной диагностике заболеваний животных опухолевой и не опухолевой природы используют один из современных методов диагностики заболеваний — иммуногистохимическое исследование. Пренатальное влияние эстрогенов впоследствии приводит к нарушению репродуктивной системы во взрослом организме, которое сопровождается параллельным ростом помолодевших случаев рака стероидозависимых органов потомства: семенников, яичников. Цель исследования — иммуногистохимический анализ маркера Bcl-2 при пренатальном воздействии различных доз синтетического аналога эстрогена синэстрола на семенники потомства белых беспородных лабораторных мышей. После фертилизации беременных самок разделили на 3 группы — одна интактная и две экспериментальные группы. Интактная группа — без воздействия ($n = 10$). Первой экспериментальной группе С-25 ($n = 13$) вводили эстрогеновый препарат синэстрол в виде 2 % масляного раствора в дозе 25 мкг/кг. Второй экспериментальной группе ($n = 13$) вводили эстрогеновый препарат синэстрол в виде 2 % масляного раствора в дозе 40 мкг/кг. По достижению половозрелого возраста потомство выводили из эксперимента. Иммуногистохимический анализ проводили на срезах с парафиновых блоков семенников потомства, предназначенных для стандартного морфологического исследования, определяли маркер ингибитора апоптоза Bcl-2, на показателях клеточных элементов мужских половых желез потомства: сперматогонии, сперматоциты, сперматиды, сперматозоиды, клетки Лейдига. Экспрессия маркера Bcl-2 при воздействии синтетического препарата синэстрола в дозах 25 и 40 мкг/кг показала, что количество позитивно окрашенных клеток в сперматогониях увеличилось на 8,6 и 9,4 % соответственно по сравнению с интактной группой. При сравнительном анализе интактной группы с экспериментальными группами С-25 и С-40 экспрессия маркера Bcl-2 в клетках сперматоцитов и сперматозоидах различий не показала, наблюдалось незначительное увеличение позитивно-окрашенных клеток в сперматидях. Показатель экспрессии маркера Bcl-2 в экспериментальных группах С-25 и С-40 уменьшился в клетках Лейдига на 56,0 ($P < 0,05$) и 60,0 % ($P < 0,05$) соответственно. Введение синтетического аналога эстрогена синэстрола в период закладки

© Сулайманова Р.Т., Квочко А.Н., 2023



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

половых желез плода приводит к нарушению морфологии в семенниках во взрослом периоде. Показатель экспрессии маркера Bcl-2 в экспериментальных группах С-25 и С-40 уменьшился в клетках Лейдига, что приводит к апоптотической гибели клеток, отвечающих за выработку мужского полового гормона тестостерона. Полученные результаты могут быть использованы при выборе оптимальных доз введения синтетического аналога эстрогена синэстрола в пренатальный период.

Ключевые слова: маркер ингибитор апоптоза, синэстрола, потомство, гонады, пренатальное воздействие

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

История статьи: поступила в редакцию 5 февраля 2023 г., принята к публикации 9 марта 2023 г.


Для цитирования: Сулайманова Р.Т., Квочко А.Н. Молекулярно-биологический маркер BCL-2: анализ семенников при пренатальном введении эстрогенов белым лабораторным мышам // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 273—281. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-273-281

Molecular biological marker BCL-2: testis analysis in prenatal injection of estrogen to white laboratory mice

Rimma T. Sulaimanova¹  , Andrey N. Kvochko² 

¹Reaviz University, Saint-Petersburg, Russian Federation

²Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russian Federation

 rimma2006@bk.ru

Abstract. Immunohistochemical study is one of the modern methods of disease diagnostics used in practical veterinary practice, as well as in scientific developments in differential diagnostics of animal diseases of tumour and non-tumour nature. Prenatal influence of estrogens results in reproductive system disorders in an adult organism which is accompanied by parallel growth of steroid dependent cancers of the offspring; testicles and ovaries. The aim of the study was to perform immunohistochemical analysis of Bcl-2 marker during prenatal exposure to different doses of the synthetic estrogen analogue Sinestrol in the testes of the offspring of white non-pedigreed laboratory mice. After fertilization, the pregnant females were divided into 3 groups, one intact and two experimental groups. The intact group was unaffected (n = 10). The first experimental group, C-25 (n = 13), was injected with the estrogen drug Sinestrol in the form of a 2 % oil solution at a dose of 25 µg/kg. The second experimental group (n = 13) was given the estrogen preparation Sinestrol in the form of 2 % oil solution in a dose of 40 mkg/kg. When the offspring reached sexual maturity, they were removed from the experiment. Immunohistochemical analysis was carried out on sections from paraffin blocks of testes of progeny intended for standard morphological study, the marker of apoptosis inhibitor Bcl-2 was determined on indices of cellular elements of male glands of progeny: spermatogonia, spermatocytes, sperm-tides, spermatozoa and Leydig cells. Expression of Bcl-2 marker upon exposure to the synthetic drug Sinestrol at doses of 25 and 40 µg/kg showed that the number of positively stained cells in spermatogonia increased by 8.6 and 9.4 % respectively compared to the intact group. When the intact group was compared with experimental groups C-25 and C-40, the expression of Bcl-2 marker in spermatocyte cells and spermatozoa showed no difference, a slight increase in positively stained cells in spermatids was observed. Bcl-2 marker expression rate in experimental groups C 25 and C-40 decreased in Leydig cells by 56.0 (P < 0.05) and 60.0 % (P < 0.05), respectively. Administration of the synthetic estrogen analogue Sinestrol during fetal gland initiation resulted in impaired morphology in the testes in adulthood. The expression index of Bcl-2 marker in experimental groups C-25 and C-40 decreased in Leydig cells, resulting in apoptotic cell death, which is responsible for production of male sex hormone testosterone. The results can be used to select optimal doses of the synthetic estrogen analogue Sinestrol in the prenatal period.

Keywords: marker apoptosis inhibitor, Sinestrol, progeny, gonads, prenatal exposure

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

Article history: Received: 5 February 2023. Accepted: 9 March 2023.

For citation: Sulaimanova RT, Kvochko AN. Molecular biological marker Bcl-2: testis analysis in prenatal injection of estrogen to white laboratory mice. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023;18(2):273–281. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-273-281

Введение

В ветеринарной медицине в качестве одного из современных методов диагностики заболеваний животных применяется иммуногистохимическое исследование. Метод используется как в лечебной практике, так и в научных разработках при дифференциальной диагностике заболеваний опухолевой и неопухолевой природы [1].

Центральное место в изучении регуляции процесса апоптоза занимают молекулярные белки семейства Bcl-2, которые отражают синтетические процессы, протекающие в клетках и тканях органов человека и животных. Белки Bcl-2 находятся в постоянном динамическом равновесии, являются фактором выживания клеток органов, защищая ее от запрограммированной гибели. В научных источниках считается, что соотношение активных форм белков Bcl-2 определяет равновесие между жизнью и смертью клетки [2–4].

Определение белков семейства Bcl-2 в клетках и тканях органов выполняют ИГХ-методом, основанным на детекции уровня белка в клетке и позволяющем выявить экспрессию Bcl-2 [5].

Уменьшение концентрации Bcl-2 приводит к апоптотической гибели клеток, тогда как сверхэкспрессия его защищает клетки от смерти. В свою очередь в структурах ядер органов ген Bcl-2 выполняет функцию негативного регулятора апоптоза [6].

Пренатальное влияние эстрогенов на ранних стадиях антенального развития, в особенности периода закладки репродуктивных органов приводит к нарушению разнообразных морфологических изменений в органах, проявляющихся в постнатальной жизни у разных видов животных, особенно при проведении искусственного осеменения [7–9].

Создание модели с экспериментальными животными — важный аспект клинических исследований, так как от качества исследуемой модели зависит обоснованность фундаментальных выводов, механизмов развития заболеваний, результатов доклинических испытаний используемых медикаментозных препаратов [10, 11].

Пренатальное экспериментальное исследование влияния и изучения последствий применения препаратов с эстрогенной активностью является актуальной и малоизученной научной проблемой.

Цель исследования — иммуногистохимический анализ маркера Bcl-2 при пренатальном воздействии различных доз синтетического аналога эстрогена синэстрола на семенники потомства белых беспородных лабораторных мышей.

Материалы и методы исследования

Эксперимент выполнен на самках ($n = 36$) и самцах ($n = 9$) белых лабораторных мышей массой 19...21 г. Экспериментальные животные содержались в стандартных условиях при круглосуточном доступе к воде и пище. Все эксперименты, уход и содержание осуществлялись в соответствии с Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета европейского союза по охране животных, используемых в научных целях. После фертилизации беременных самок разделили на 3 группы — одна интактная и две экспериментальные группы. Принимая во внимание физиологическую экспрессию гормонов мышей каждой самке в отдельности на стадии гестации E 11.5 беременности в одно и тоже время суток, однократно, внутримышечно вводили различные дозы исследуемых препаратов. Интактная группа — без воздействия ($n = 10$). Первой экспериментальной группе C-25 ($n = 13$) вводили эстрогеновый препарат синестрол в виде 2 % масляного раствора в дозе 25 мкг/кг. Второй экспериментальной группе C-40 ($n = 13$) вводили эстрогеновый препарат синестрол в виде 2 % масляного раствора в дозе 40 мкг/кг. Расчеты эффективности доз препаратов проводили в соответствии с коэффициентом для перерасчета доз веществ в мкг/кг для мышей¹ [12, 13]. Введение лекарственных средств в эксперименте проводили по Методическим рекомендациям изучения общетоксического действия фармакологических веществ². По пять экспериментальных животных, рожденных от самок каждой группы, оставляли с матерью до одного месяца, после чего полученное потомство ($n = 15$) — отдельно самцов и самок — отсаживали в клетки. По достижению половозрелого возраста потомство выводили из эксперимента в фазу диэструса. Определяли эстральный цикл, используя влагалищные мазки, окрашенные по критериям М.С. Сора [14].

Иммуногистохимический анализ проводили на семенниках потомства белых лабораторных мышей, фиксацию и гистологическую проводку осуществляли по стандартной схеме. Подсчет структур семенников потомства производили под иммерсионным объективом на стандартных полях зрения 90³.

Иммуногистохимическим методом определяли маркер ингибитора апоптоза Bcl-2. Анализ проводили на срезах с парафиновых блоков семенников потомства, предназначенных для стандартного морфологического исследования. Парафиновые срезы депарафинировали и регидратировали по стандартной методике, используя непрямую стрептавидин-биотиную систему детекции Leica BOND (Novocastra™, Германия) для мыши (Mouse Monoclonal Antibody Bcl-2 Oncoprotein. Клон N-19, разведение: 1:300) по рекомендации производителя Santa Cruz Biotechnology (США). Гистологические срезы толщиной 4 мкм окрашивали с помощью иммуногистостейнера Leica Microsystems Bond™ (Германия). В 10 полях зрения при увеличении $\times 100$ проводилась оценка окрашенных препаратов каждого образца

¹ Хабриев Р.У. Руководство по экспериментальному изучению новых фармакологических веществ. М.: Медицина, 2005. С. 49–51

² Методические указания по изучению общетоксического действия фармакологических веществ / Е.В. Арзамасцев, Т.А. Гуськова, И.В. Березовская; под ред. Р.У. Хабриева. М.: Медицина, 2005. С. 41–54.

³ Гистологическая техника / В.В. Семченко, С.А. Барашкова, В.И. Ноздрин, В.Н. Артемьев. Омск: Омская областная типография, 2006. 290 с.

с использованием светового микроскопа Leica. Среднее число положительных к антигенам клеток вычисляли соотношением с клетками, в которых эти антигены не определялись (на 100 просчитанных клеток).

Экспрессию маркера Bcl-2 оценивали в семенниках потомства: сперматогониях, сперматоцитах, сперматидах, сперматозоидах, клетках Лейдига.

Статистическую обработку осуществляли с использованием программы Statistica 7.0 (StatSoft, США). По каждому параметру вычисляли среднее арифметическое значение и его стандартную ошибку ($M \pm SD$). Достоверность изменений оценивали с помощью метода Краскела — Уолиса, различия определяли при достигнутом уровне значимости $P < 0,05$.

Результаты исследования и обсуждение

Результаты экспрессии маркера Bcl-2 семенников потомства лабораторных мышей при пренатальном введении синтетического препарата синэстрол приведены в таблице и на рис. 1–3.

Количество Bcl-2 иммунопозитивных клеток в семенниках потомства белых беспородных лабораторных мышей при пренатальном введении синтетического препарата синэстрол

Показатели	Интактная	C-25	C-40
Клетки сперматогониев в эпителии извитого семенного канальца	25,4 ± 1,8	27,6 ± 1,7	27,8 ± 1,5
Клетки сперматоцитов в эпителии извитого семенного канальца	29,2 ± 1,3	29,6 ± 2,1	29,4 ± 1,1
Клетки сперматид в эпителии извитого семенного канальца	24,8 ± 0,8	25,8 ± 0,8	26,0 ± 1,1
Клетки сперматозоидов в просвете извитого семенного канальца	119,4 ± 0,5	117,8 ± 0,9	116,9 ± 1,9
Клетки Лейдига в соединительнотканной строме между извитыми семенными канальцами	5,0 ± 0,7	2,2 ± 0,8*	2,0 ± 0,7*

Примечание. * $P < 0,05$ в сравнении с интактной группой.

Number of Bcl-2 immunopositive cells in testes of outbred laboratory mice offspring after prenatal injection of Sinestrol synthetic drug

Indicators	Control	C-25	C-40
Spermatogonian cells in epithelium of convoluted seminiferous tubule	25.4 ± 1.8	27.6 ± 1.7	27.8 ± 1.5
Spermatocyte cells in epithelium of convoluted seminiferous tubule	29.2 ± 1.3	29.6 ± 2.1	29.4 ± 1.1
Spermatid cells in epithelium of convoluted seminiferous tubule	24.8 ± 0.8	25.8 ± 0.8	26.0 ± 1.1
Sperm cells in lumen of convoluted seminiferous tubule	119.4 ± 0.5	117.8 ± 0.9	116.9 ± 1.9
Leydig cells in connective tissue stroma between convoluted seminiferous tubules	5.0 ± 0.7	2.2 ± 0.8*	2.0 ± 0.7*

Note: * $P < 0.05$ in comparison with the control group.

Показатель экспрессии маркера Bcl-2 в группах С-25 и С-40 увеличился в клетках сперматогониев в эпителии извитого семенного канальца на 8,6 и 9,4 % по сравнению с интактной группой, что согласуется с результатами зарубежных авторов [3, 5, 15]. В экспериментальных группах С-25 и С-40 в клетках сперматоцитов в эпителии извитого семенного канальца уровень экспрессии значимых различий не выявил. В клетках сперматидов в обеих экспериментальных группах произошло незначительно увеличение количества позитивно окрашенных клеток экспрессии маркера Bcl-2. В экспериментальных группах С-25 и С-40 в клетках сперматидов значимых различий в показателях экспрессии маркера Bcl-2 не было выявлено. Сравнительный анализ с интактной группой показал, что в экспериментальных группах С-25 и С-40 произошло статистически значимое уменьшение степени экспрессии маркера Bcl-2 количества позитивно окрашенных клеток Лейдига в слоях соединительной ткани между извитыми семенными канальцами на 56,0 ($P < 0,05$) и 60,0 % ($P < 0,05$) соответственно.

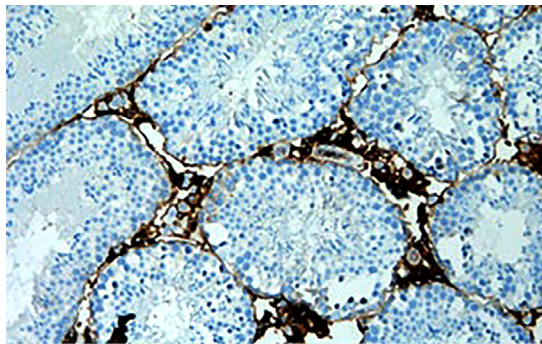


Рис. 1. Семенник потомства интактной группы. ИГХ-реакция на маркер Bcl-2. Докраска ядер гематоксилином. $\times 100$
Источник: выполнено авторами

Fig. 1. Testis of the intact group offspring. IHC reaction to Bcl-2 marker. Nucleus staining with hematoxylin. $\times 100$
Source: made by the authors

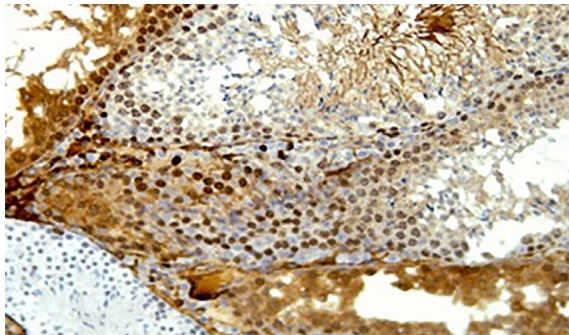


Рис. 2. Семенник потомства экспериментальной группы С-25 мкг/кг. ИГХ-реакция на маркер Bcl-2. Докраска ядер гематоксилином. $\times 100$
Источник: выполнено авторами

Fig. 2. Testis of the experimental group offspring (C-25 $\mu\text{g}/\text{kg}$). IHC reaction to Bcl-2 marker. Nucleus staining with hematoxylin. $\times 100$
Source: made by the authors

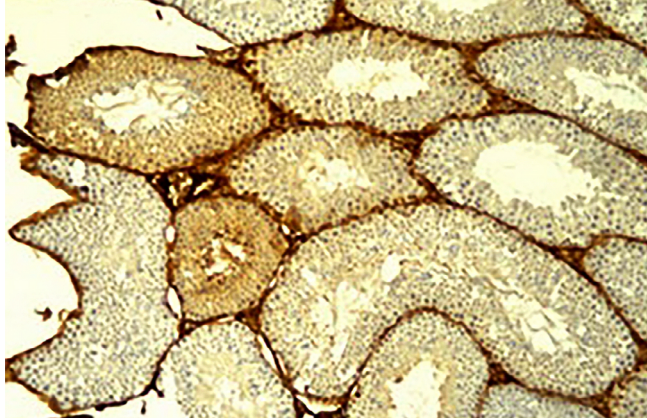


Рис. 3. Семенник потомства экспериментальной группы С-40 мкг/кг. ИГХ-реакция на маркер Bcl-2. Докраска ядер гематоксилином. $\times 100$
Источник: выполнено авторами

Fig. 3. Testis of the experimental group offspring (C-40 $\mu\text{g}/\text{kg}$). IHC reaction to Bcl-2 marker. Nucleus staining with hematoxylin. $\times 100$
Source: made by the authors

Таким образом, экспрессия маркера Bcl-2 при воздействии синтетического препарата синэстрола в дозах 25 и 40 мкг/кг показала, что количество позитивно окрашенных клеток в сперматогониях увеличилось на 8,6 и 9,4 % соответственно, по сравнению с интактной группой. При сравнительном анализе интактной группы с экспериментальными группами С-25 и С-40 экспрессия маркера Bcl-2 в клетках сперматоцитов и сперматозоидах различий не показала, наблюдалось незначительное увеличение позитивно-окрашенных клеток в сперматидях. Показатель экспрессии маркера Bcl-2 в экспериментальных группах С-25 и С-40 уменьшился в клетках Лейдига на 56,0 ($P < 0,05$) и 60,0 % ($P < 0,05$) соответственно.

Заключение

Можно предполагать, что введение синтетического аналога эстрогена синэстрола в период закладки половых желез плода приводит к нарушению морфологии в семенниках во взрослом периоде. Показатель экспрессии маркера Bcl-2 в экспериментальных группах С-25 и С-40 уменьшился в клетках Лейдига, что вызвало апоптотическую гибель клеток, отвечающих за выработку мужского полового гормона тестостерона. Полученные результаты могут быть использованы при выборе оптимальных доз введения синтетического аналога эстрогена синэстрола в пренатальный период.

Библиографический список

1. Даренская А.Д., Доброва Н.В., Степанова Е.В. Молекулярно-биологический маркер Bcl-2 при колоректальном раке: характеристика, роль в механизмах регуляции апоптоза, влияние на прогноз (обзор литературы) // Современная онкология. 2019. Т. 21. № 1. С. 52–58. doi: 10.26442/18151434.2019.1.190278

2. Фролов М.А., Слепова О.С., Ловпаче Дж.Н., Морозова Н.С. Маркёры апоптоза и методы изучения апоптотической гибели клеток // Сборник научных статей XI Международного конгресса «Глаукома: теории, тенденции, технологии». М., 2013. С. 265–270.
3. Huang X., Wu D.Y., Chen G., Manji H., Chen D.F. Support of retinal ganglion cell survival and axon regeneration by lithium through a Bcl-2-dependent mechanism // *Eur. J. Ophthalmol.* 2001. Jul-Sep.11 Suppl 2. P. 12–22. doi: 10.1167/iops.02–0198
4. Mooney S.M., Miller M.W. Expression of Bcl-2, Bax and caspase-3 in the brain of the developing rat // *Dev. Brain Res.* 2000. Vol. 123. P. 103–117. doi: 10.1016/s0165–3806(00)00081-x
5. Leahy D.T., Mulcahy H.E., O'Donoghue D.P., Parfrey N.A. Bcl-2 protein expression is associated with better prognosis in colorectal cancer // *Histopathology.* 1999. № 35 (4). P. 360–367. doi: 10.1046/j.1365–2559.1999.00743.x
6. Cory S., Adams J.M. The Bcl2 family: regulators of the cellular life-or-death switch // *Nat Rev Cancer.* 2002. № 2. P. 647–656. doi: 10.1038/nrc883
7. Delbès G., Levacher C., Habert R. Estrogen effects on fetal and neonatal testicular development. *Reproduction.* 2006. № 132(4). P. 527–538. doi: 10.1530/rep.1.01231
8. Stewart M.K., Mattiske D.M., Pask A.J. Exogenous Oestrogen Impacts Cell Fate Decision in the Developing Gonads: A Potential Cause of Declining Human Reproductive Health // *Int J Mol Sci.* 2020. № 21(21). P. 8377. doi: 10.3390/ijms21218377
9. El-Shahat A.E., Gabr A., Meki A.R. et al. Altered testicular morphology and oxidative stress induced by cadmium in experimental rats and protective effect of simultaneous green tea extract // *International Journal of Morphology.* 2009. № 27(3). P. 757–764. doi: 10.4067/S0717–95022009000300020
10. Ткачев А.В., Ткачева О.Л., Коровин Ю.И., Вертипрахов В.Г. Молекулярно-генетические методики в практической физиологии, ветеринарии и животноводстве: монография. М.: РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. 317 с.
11. Ткачев А.В., Евсюкова А.А., Фрундина А.Д. Эффективность модификации технологии криоконсервирования спермы жеребцов для замораживания эякулятов хряков // Инновационные решения в аграрной науке — взгляд в будущее: материалы XXIII междунар. научно-производ. конф., Майский, 28–29 мая 2019 г. Т. 2. Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2019. С. 61–62.
12. Гуськова Т.А. Доклиническое токсикологическое изучение лекарственных средств как гарантия безопасности проведения их клинических исследований // *Токсикологический вестник.* 2010. № 5 (104). С. 2–6.
13. Сулайманова Р.Т., Хайруллин Р.М., Имаева А.К., Гниятуллина Г.А., Свирская М.В. Способ моделирования проканцерогенного действия синестрола на яичники потомства женского пола у лабораторных мышей. Патент на изобретение № RU 2676437 от 09.01.2018.
14. Cora M.C., Kooistra L., Travlos G. Vaginal Cytology of the Laboratory Rat and Mouse: Review and Criteria for the Staging of the Estrous Cycle Using Stained Vaginal Smears // *Toxicologic Pathology.* 2015. № 43(6). С. 776–793. doi: 10.1177/019262315570339
15. Потапов С.Н., Горголь Н.И., Андреев А.В. Морфологические особенности клеток Лейдига плодов и новорожденных от матерей с преэклампсией // *Медицина сегодня и завтра.* 2011. Т. 4. № 53. С. 23–26.

References

1. Darenskaya AD, Dobrova NV, Stepanova EV. Molecular-biological marker Bcl-2 in colorectal cancer: the characteristics, the role of mechanisms regulating apoptosis, the effect on the prognosis (review of literature). *Journal of Modern Oncology.* 2019;21(1):52–58. (In Russ.) doi: 10.26442/18151434.2019.1.190278
2. Frolov MA, Slepova OS, Lovpache DN, Morozova NS. Markers of apoptosis and methods for studying apoptotic cell death. *Glaucoma: theories, trends, technologies: conference proceedings.* Moscow; 2013. p.265–270. (In Russ.).
3. Huang X, Wu DY, Chen G, Manji H, Chen DF. Support of retinal ganglion cell survival and axon regeneration by lithium through a Bcl-2-dependent mechanism. *Investigative Ophthalmology & Visual Science.* 2003;44:347–354. doi: 10.1167/iops.02–0198
4. Mooney SM, Miller MW. Expression of Bcl-2, Bax and caspase-3 in the brain of the developing rat. *Dev. Brain Res.* 2000;123(2):103–117. doi: 10.1016/s0165–3806(00)00081-x
5. Leahy DT, Mulcahy HE, O'Donoghue DP, Parfrey NA. Bcl-2 protein expression is associated with better prognosis in colorectal cancer. *Histopathology.* 1999;35(4):360–367. doi: 10.1046/j.1365–2559.1999.00743.x

6. Cory S, Adams JM. The Bcl2 family: regulators of the cellular life-or-death switch. *Nat Rev Cancer*. 2002;2(9):647–656. doi: 10.1038/nrc883
7. Delbès G, Levacher C, Habert R. Estrogen effects on fetal and neonatal testicular development. *Reproduction*. 2006;132(4):527–538. doi: 10.1530/rep.1.01231
8. Stewart MK, Mattiske DM, Pask AJ. Exogenous Oestrogen Impacts Cell Fate Decision in the Developing Gonads: A Potential Cause of Declining Human Reproductive Health. *Int J Mol Sci*. 2020;21(21):8377. doi: 10.3390/ijms21218377
9. El-Shahat AE, Gabr A, Meki AR, Mehana E. Altered testicular morphology and oxidative stress induced by cadmium in experimental rats and protective effect of simultaneous green tea extract. *International Journal of Morphology*. 2009;27(3):757–764. doi: 10.4067/S0717–95022009000300020
10. Tkachev AV, Tkacheva OL, Korovin YI, Vertiprakhov VG. *Molecular genetic methods in practical physiology, veterinary medicine and animal husbandry*. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy publ.; 2022. (In Russ.).
11. Tkachev AV, Evsyukova AA, Frundina AD. Efficiency of modification of stallion semen cryopreservation technology for freezing boar ejaculates. In: *Innovative solutions in agricultural science — a look into the future: conference proceedings*. Maiky: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin publ.; 2019. p.61–62. (In Russ.).
12. Guskova TA. Preclinical toxicological study of pharmaceuticals as a pledge of clinical studies safety. *Toxicological Review*. 2010;5(104):2–5. (In Russ.).
13. Sulaymanova RT, Khayrullin RM, Imaeva AK, Gniyatullina GA, Svirskaya MV. *Sposob modelirovaniya prokantserogennogo deystviya sinestrola na yaichniki potomstva zhen-skogo pola u laboratornykh myshei* [A method for modeling the pro-cancerogenic effect of synestrol on ovaries of female offspring in laboratory mice]. Patent RUS, no. 2676437, 2018. (In Russ.).
14. Cora MC, Kooistra L, Travlos G. Vaginal Cytology of the Laboratory Rat and Mouse: Review and Criteria for the Staging of the Estrous Cycle Using Stained Vaginal Smears. *Toxicologic Pathology*. 2015;43(6):776–793. doi: 10.1177/0192623315570339
15. Potapov SN, Gorgol NI, Andreev AV. Morphological features of Leydig’s cells in fetuses and newborns from mothers with pre-eclampsia. *Medicine Today and Tomorrow*. 2011;(4):23–26. (In Russ.).

Об авторах:

Сулайманова Римма Тагировна — кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой медико-биологических дисциплин, Университет «Реавиз», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. Калинина, д. 8; e-mail: rimma2006@bk.ru

ORCID: 0000–0002–1658–9054

Квочко Андрей Николаевич — доктор биологических наук, профессор, профессор РАН, заведующий кафедрой физиологии, хирургии и акушерства, Ставропольский государственный аграрный университет, Российская Федерация, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, д. 12; e-mail: kvochko@yandex.ru

ORCID: 0000–0003–4445–7638

About authors:

Sulaymanova Rimma Tagirovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Medical and Biological Disciplines, Reaviz University, 8/2 Kalinina st., Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: rimma2006@bk.ru

ORCID: 0000–0002–1658–9054

Kvochko Andrey Nikolaevich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Physiology, Surgery and Obstetrics, Stavropol State Agrarian University, 12 Zootekhnicheskoy lane, Stavropol, 355017, Russian Federation; e-mail: kvochko@yandex.ru

ORCID: 0000–0003–4445–7638



Экономика и развитие АПК Management and development of agro-industrial complex

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-282-300

EDN JAWVHD


УДК 338.43 + 631.527.633.13

Научная статья / Research article

Проектный подход в селекционных программах для обеспечения продовольственной безопасности Западной Сибири

О.А. Юсова  , П.Н. Николаев 

Омский аграрный научный центр, г. Омск, Российская Федерация

 yusova@anc55.ru

Аннотация. Рассмотрены этапы разработки и реализации проекта для решения основных вопросов селекционных программ. Исследования проведены с использованием эмпирических методов и маркетинговой стратегии. Управление проектами является частью системы менеджмента предприятия, в данном случае — Омского аграрного научного центра. Наличие четкого, заранее определенного плана минимизации рисков, а также эффективного управления изменениями — ключевой фактор успеха проектного управления. Учитывая известные ограничения такого подхода: финансовые, временные и человеческие, авторы основное внимание уделили третьей составляющей, в частности: организационной структуре, роли, ответственности и взаимодействию каждого его члена. Показано, что при условии четкого разделения ролей достигаются стабилизация работ и минимизация отклонений от утвержденного заказчиком плана, обеспечивающие увеличение чистого дохода при минимальных затратах — основной критерий экономической эффективности в аграрном секторе. Сделан вывод о необходимости в современных реалиях строить селекционные программы не на интуитивном подходе, а при четко организованном планировании, начиная с этапа экспертной оценки значимости и заканчивая экономической оценкой его эффективности. Разработан базовый проект — план реализации селекционных программ, применимый в производственных условиях селекционных предприятий.

Ключевые слова: производство сорта, проект, маркетинг, рынок, риск, селекция

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

История статьи: поступила в редакцию 12 августа 2022 г., принята к публикации 25 апреля 2023 г.

© Юсова О.А., Николаев П.Н., 2023




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

Для цитирования: Юсова О.А., Николаев П.Н. Проектный подход в селекционных программах для обеспечения продовольственной безопасности Западной Сибири // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2023. Т. 18. № 2. С. 282—300. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-282-300

Project approach in breeding programs to ensure food security in Western Siberia

Oksana A. Yusova  , Petr N. Nikolaev 

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russian Federation
 yusova@anc55.ru

Abstract. The stages of development and implementation of the project for solving the main issues of breeding programs were considered. The studies were carried out using empirical methods and a marketing strategy. Project management is a part of the enterprise management system, in this case, Omsk Agrarian Research Center. Having a clear, predetermined risk mitigation plan as well as effective change management is a key success factor for project management. Given the well-known limitations of this approach: financial, time and human — the authors focused on the third component, in particular, organizational structure, role, responsibility and interaction of each of its members. It was shown that, under the condition of a clear division of roles, stabilization of work and minimization of deviations from the plan approved by the customer were achieved. It led to an increase in net income at minimal cost — the main criterion for economic efficiency in the agricultural sector. As a result, in modern realities, it is necessary to build breeding programs not on an intuitive approach, but with well-organized planning, starting from the stage of expert assessment of significance and ending with an economic assessment of its effectiveness. A basic project was developed — a plan for the implementation of breeding programs, applicable in production conditions of breeding enterprises.

Key words: variety production, project, marketing, market, risk, breeding

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

Article history: Received: 12 August 2022. Accepted: 25 April 2023.

For citation: Yusova OA, Nikolaev PN. Project approach in breeding programs to ensure food security in Western Siberia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(2): 282—300. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-2-282-300

Введение

Интенсивный поиск наиболее эффективных форм и методов проектной деятельности, с применением которых значительно повысится продуктивность исследований, является актуальным направлением в аграрной научной сфере. Основная проблематика при этом заключается в недостаточной изученности (с экономической точки зрения) эффективности применения данных проектов. Также необходимо описание конкретных примеров их применения, которые могли бы стать методической основой в практической деятельности селекционера [1–3].

«В настоящее время в Российской Федерации осуществляется либо находится в стадии планирования значительный объем крупных инвестиционных и инновационных проектов с государственным участием» [4]. Для успешной реализации данных проектов первоочередной задачей является создание эффективной системы их сопровождения на всех стадиях реализации (отбор, планирование, мониторинг). Также должно быть предусмотрено внедрение лучших мировых и отечественных практик и инструментов управления. При анализе зарубежного опыта можно увидеть высокую эффективность проектного подхода при осуществлении администрирования широкого спектра инвестиционных и инновационных проектов в различных сферах деятельности [4–6].

Для успешной реализации селекционного проекта необходима четкая стратегия взаимодействия участников проекта — внешних (которые влияют на деятельность организации) [7] и внутренних (определяют ресурсный потенциал производственной деятельности) [8]. Определение рисков позволяет заранее спрогнозировать и предотвратить срыв реализации проекта при условии контроля на каждом его этапе [9].

Как правило, развитие и реализация жизненного цикла продуктов, процессов и систем происходит в рамках модели «планирование — проектирование — производство — применение», что получило широкое распространение, в т. ч. и в агрономии. Продуктами проекта могут быть продукция предприятия, результаты научных и маркетинговых исследований, а также решение разных внутренних производственных задач, таких как повышение качества продукции и эффективности организации труда, оптимизация финансовых потоков и др. [10–12].

Цель исследований — разработка с использованием опыта организации научно-производственной деятельности во ФГБНУ «Омский АНЦ» базового проекта, применимого для решения основных вопросов региональных селекционных программ.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены с использованием эмпирических методов-действий [13] трех типов:

1) метод отслеживания (мониторинг, изучение и обобщение опыта). Заключается в изучении исследуемого объекта с той или иной мерой глубины и детализации в зависимости от поставленных исследователем задач;

2) методы с преобразующими методиками (опытная работа, эксперимент). Различие между опытной работой и экспериментом состоит в степени произвольности действий исследователя. Например, опытная работа является нестрогой исследовательской процедурой, в которую исследователь может вносить коррективы в зависимости от складывающихся обстоятельств, соображений целесообразности. Напротив, эксперимент — строго регламентированная процедура с четким соблюдением требований;

3) методы, изучающие состояние объекта во времени (ретроспектива и прогнозирование на будущее). «Метод эмпирического прогнозирования, в основе

которого находится анализ структуры доступной эмпирической информации, наиболее распространен. Широко данный метод применяется в слабо информативных областях, где моделирование, основанное на априори известных физических законах, малоэффективно. К таким исследованиям относятся биометрические исследования, связанные с задачами, возникающими в различных отраслях науки, бизнеса, в том числе и в агрономии» [14].

В качестве маркетинговой стратегии использована стратегия развития рынка [15] (по И. Ансоффу). Данная матрица популярна, достаточно распространена и известна в среде маркетинга как инструмент стратегического планирования.

Результаты исследования и обсуждение

Селекционная наука постоянно совершенствуется, развивается в связи с актуальными запросами современности. Селекция — это бесконечный конвейер, когда в течение периода вегетации в различных питомниках можно наблюдать все этапы селекционного процесса (начиная от исследований генотипов F_1 и заканчивая передачей сорта на государственное сортоиспытание). Сорта, созданные ранее, включаются в план гибридизации и становятся базой для создания следующих.

Создание сорта — это требующий больших трудозатрат и значительного материального обеспечения процесс продолжительностью от 10 до 15 лет. В связи с этим, кроме непосредственно селекционеров, в проекте создания сорта должны быть задействованы специалисты различных отраслей и направлений.

На каждом этапе изучения происходит строгий отбор при сравнении как со стандартом, так и с родительскими сортами. Интенсивность отбора в селекционных питомниках выглядит следующим образом: в селекционном питомнике 1 года отбраковывается 94...95 % из исследуемого материала; в селекционном питомнике 2 года — 42...43 %; в контрольном питомнике — 44...45 %; в конкурсном сортоиспытании — 67...69 % (рис. 1). Как правило, доля отбора составляет 1...2 % от взятого в исследование гибридного материала. И лишь одна-две линии из данного набора в дальнейшем передаются на Государственное сортоиспытание.

Целесообразность включения каждой работы в предметную область проекта обоснована целью разложения его на составные части, позволяющие определить перечень элементов, необходимых и достаточных для получения результатов. Проект состоит из четырех этапов (рис. 2): информационно-технического, материально-технического, непосредственно создания сорта и его внедрения в производство. Как видно из представленной схемы, каждый этап имеет 3–5 подэтапов, выполнение которых важно для достижения общей цели.

Для успешной реализации проекта проработана технология организации управления им. Основными исполнителями проекта (рис. 3) являются селекционно-семеноводческий центр (куда входят селекционеры, аналитики и семеноводы), а также экономический (главный и ведущий экономисты) и маркетинговый отделы. Ниже приводится организационный план.

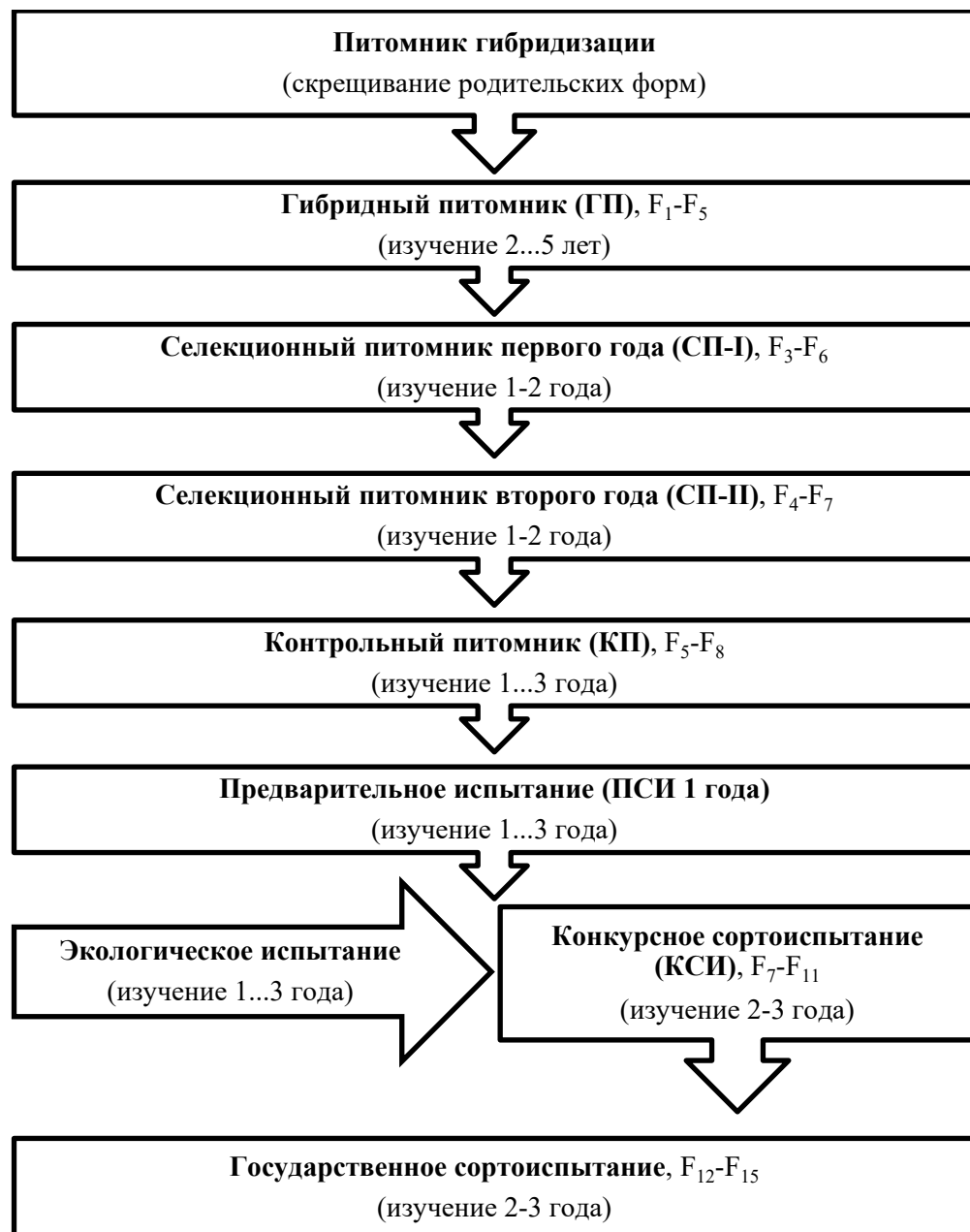


Рис. 1. Схема селекции в Омском аграрном научном центре
Источник: сделано авторами

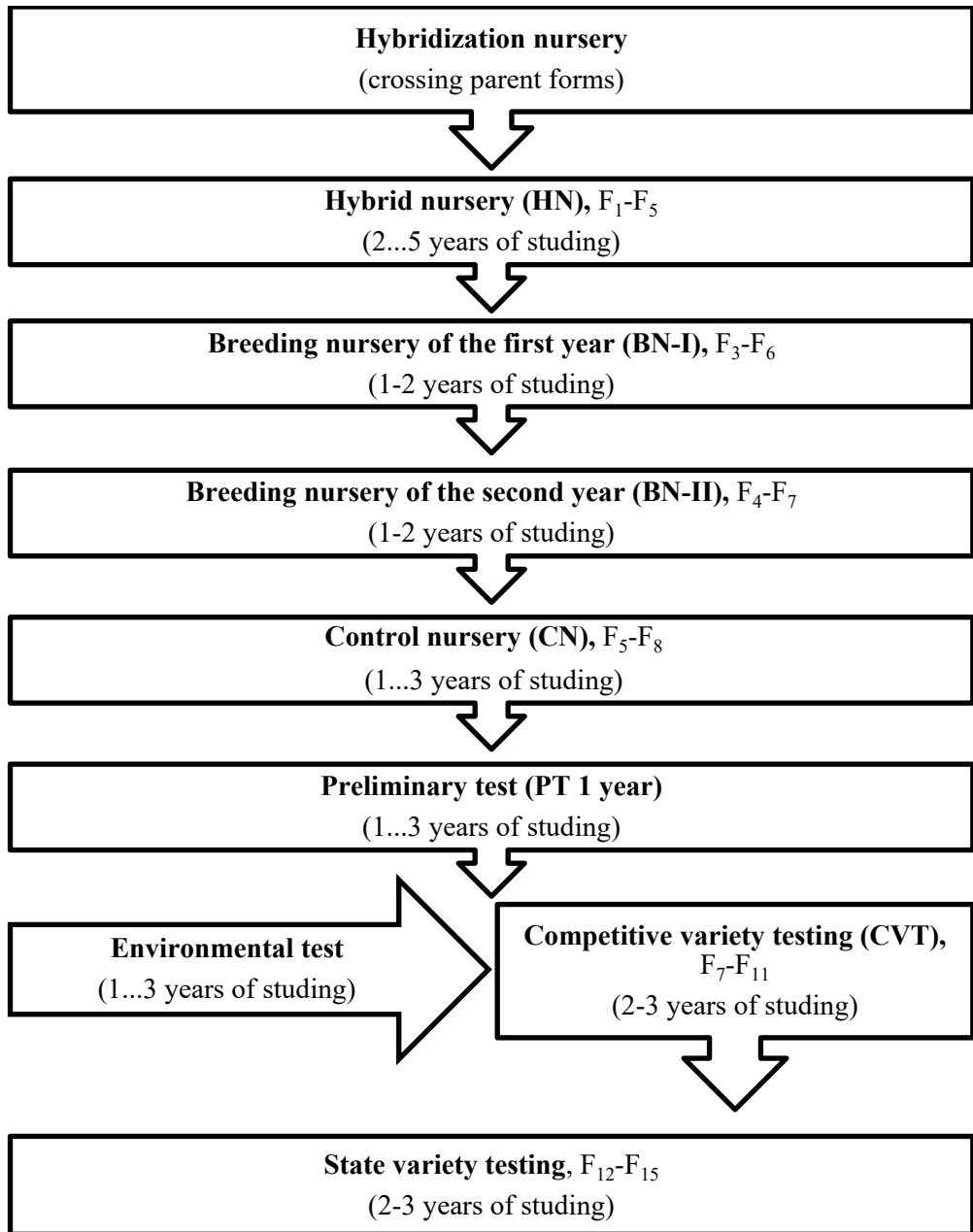


Fig. 1. Selection scheme in Omsk Agricultural Research Center
Source: made by the authors

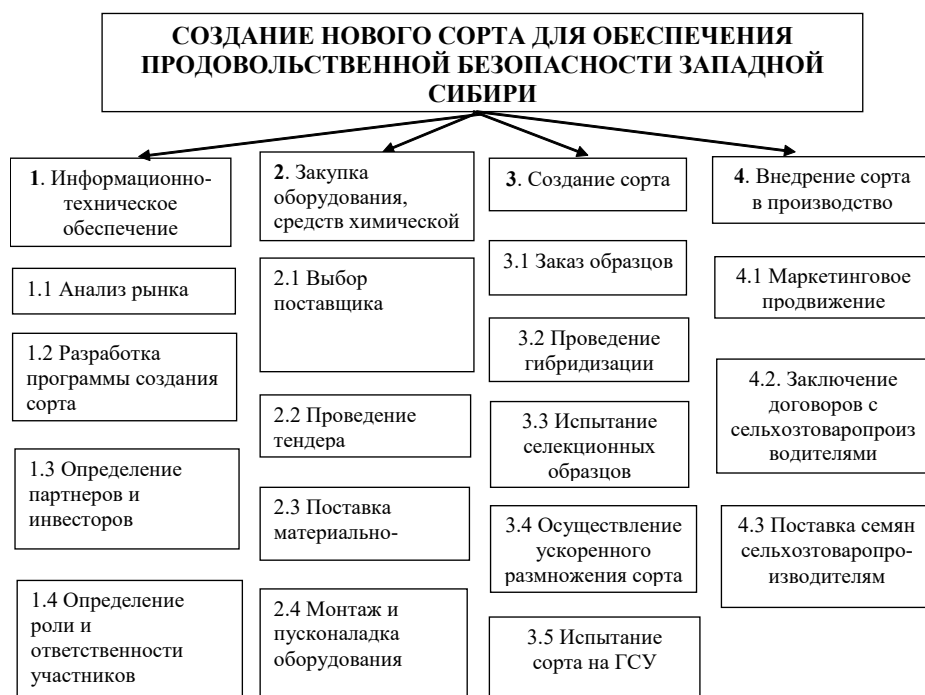


Рис. 2. Иерархическая структура работ
 Источник: сделано авторами

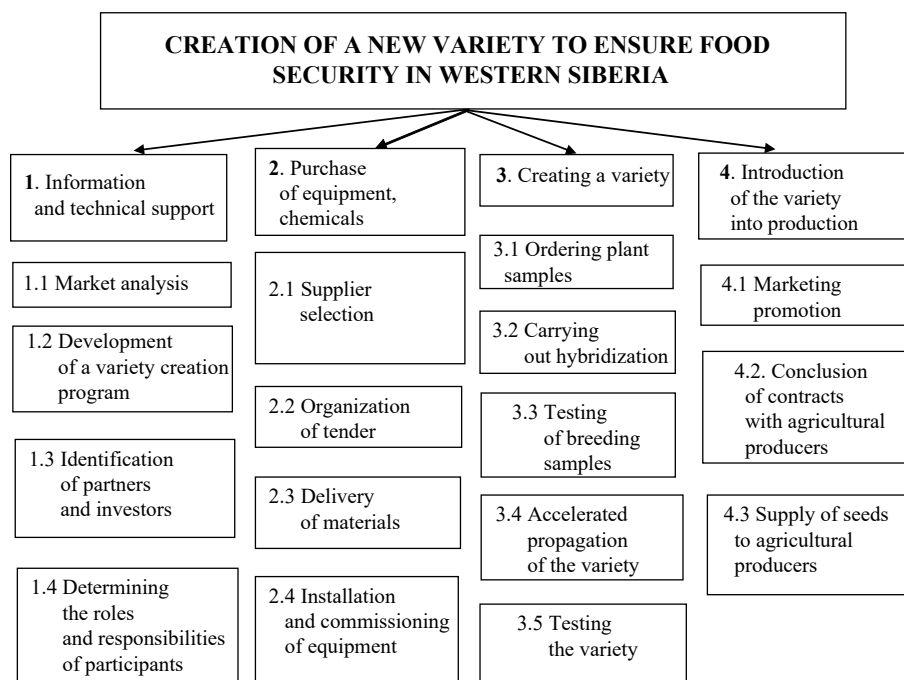


Fig. 2. Work breakdown structures
 Source: made by the authors

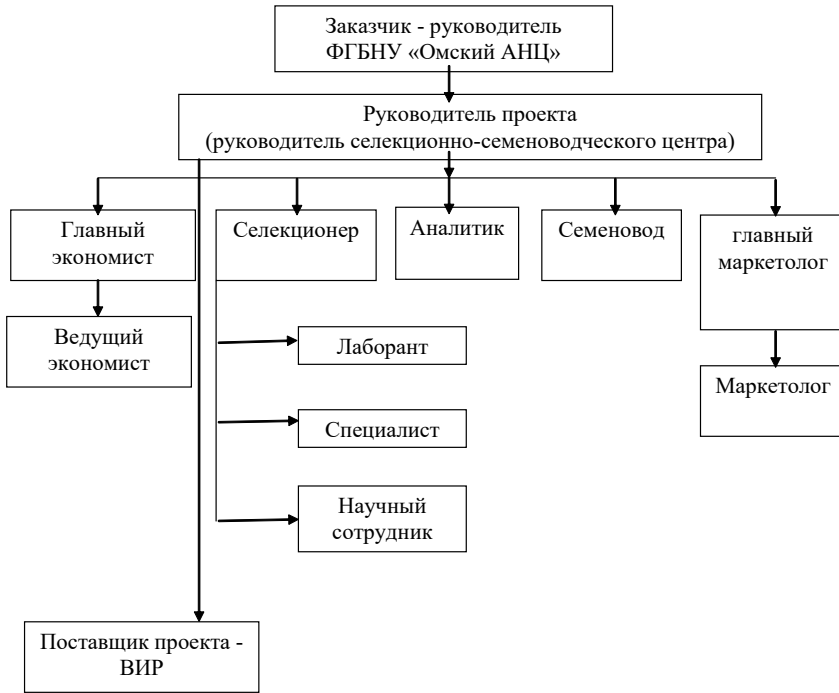


Рис. 3. Организационная структура проекта
Источник: сделано авторами

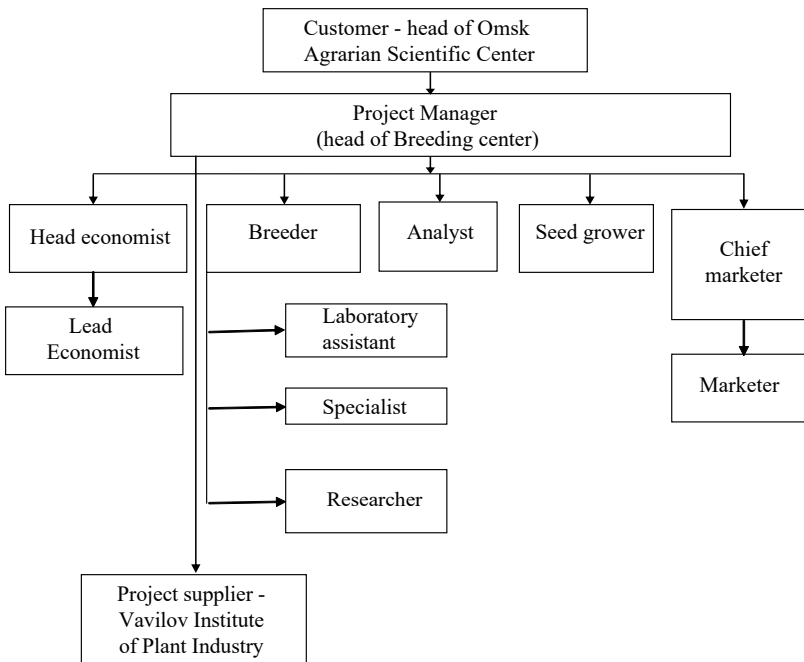


Fig. 3. Organizational structure of the project
Source: made by the authors

Заказчик проекта осуществляет согласование и контроль основных этапов проекта на заключительных стадиях (табл. 1).

Таблица 1

Матрица ответственности

№ п/п	Роли членов команды	Заказчик – ФГБНУ «Омский АНЦ»	Руководитель проекта	Главный экономист	Ведущий экономист	Селекционер	Лаборант	Специалист	Научный сотрудник	Семеновод	Аналитик	Участник проекта – главный маркетолог	Маркетолог
	Работа проекта												
1.	Информационно-техническое обеспечение	В У											
1.2	Анализ рынка		В	О	И							ОС	ОИ
1.3	Разработка программы создания сорта		В У			И						ОС	
1.4	Определение партнеров и инвесторов		В У								ОВ	ОС	ОИ
1.5	Определение роли и ответственности участников		В У										
2.	Закупка оборудования, средств химической защиты, запчастей	В У	В У	О	И								
2.1	Выбор поставщика		В У	О	И								
2.2	Проведение тендера		В У	О	И								
2.3	Поставка материально-технических средств		В У	О	И								
2.4	Монтаж и пусконаладка оборудования		В У	О	И								
3.	Создание сорта	В У	В У	О									
3.1	Заказ образцов		В У	О		И	И	И	И				
3.2	Проведение гибридизации		В У	О		И	И	И	И				
3.3	Испытание селекционных образцов		В У	О		И	И	И	И	И			
3.4	Испытание селекционных образцов		В У	О					И				
3.5	Осуществление ускоренного размножения сорта		В У	О					И				
3.6	Испытание сорта на ГСУ		В У	О		О							
4.	Внедрение сорта в производство	В У	В У										
4.1	Маркетинговое продвижение		В У								ОВ	ОС	И
4.2.	Заключение договоров с сельхозтоваропроизводителями	В У	В У								ОВ	ОС	И
4.3	Поставка семян сельхозтоваропроизводителям	В У	В У						И			ОС	И

Примечание. О – ответственный; И – исполнитель; К – консультант; У – утверждение; С – согласование; В – контроль.

Responsibility matrix

№	Role		Customer – head of Omsk Agrarian Scientific Center	Project Manager (head of Breeding center)	Head economist	Lead Economist	Breeder	Laboratory assistant	Specialist	Researcher	Seed grower	Analyst	Chief marketer	Marketer
	Work													
1.	Information and technical support		M Ap											
1.2	Market analysis			M	R	P							R Ag	R P
1.3	Development of a variety creation program			M Ap			P						R Ag	
1.4	Identification of partners and investors			M Ap								RM	R Ag	R P
1.5	Determining the roles and responsibilities of participants			M Ap										
2.	Purchase of equipment, chemicals		M Ap	M Ap	R	P								
2.1	Supplier selection			M Ap	R	P								
2.2	Organization of tender			M Ap	R	P								
2.3	Delivery of materials			M Ap	R	P								
2.4	Installation and commissioning of equipment			M Ap	R	P								
3.	Creating a variety		M Ap	M Ap	R									
3.1	Ordering plant samples			M Ap	R		P	P	P	P				
3.2	Carrying out hybridization			M Ap	R		P	P	P	P				
3.3	Testing of breeding samples			M Ap	R		P	P	P	P	P			
3.4	Accelerated propagation of the variety			M Ap	R					P				
3.5	Testing the variety			M Ap	R		R							
4.	Introduction of the variety into production		M Ap	M Ap										
4.1	Marketing promotion			M Ap								RM	R Ag	P
4.2.	Conclusion of contracts with agricultural producers		M Ap	M Ap								RM	R Ag	P
4.3	Supply of seeds to agricultural producers		M Ap	M Ap							P		R Ag	P

Note. R – responsible; P – performer; C – consultant; Ap – approval; Ag – agreement; M – monitoring.

Руководитель селекционно-семеноводческого центра курирует все этапы работ проекта, согласовывает основные моменты тактики. В его подчинении находятся:

- селекционер — штатный сотрудник, выполняющий основные работы по созданию сорта;
- лаборант — штатный сотрудник, выполняющий основные работы по контролю качества сорта;
- специалист — штатный сотрудник, выполняющий основные работы по созданию сорта;
- научный сотрудник — штатный сотрудник, систематизирующий все работы по созданию, контролю качества сорта и получению его семян.

Семеновод — штатный сотрудник, выполняющий основные работы по получению семенного материала сорта в достаточном для реализации количестве.

Аналитик — штатный сотрудник, систематизирующий данные экономического и маркетингового отделов, селекционера.

Главный экономист — контроль экономической части проекта. Руководит следующими специалистами:

- ведущий экономист — основные процессы экономической части проекта;
- главный маркетолог — разработка маркетинговой составляющей проекта.

Под его руководством работает:

- ведущий маркетолог — реализация маркетинговой составляющей проекта, сегментация клиентов, определение их потребностей, мониторинг состояния конкурентов.

Мировая коллекция Всероссийского института генетических ресурсов имени Н.И. Вавилова (ВИР) является главным поставщиком проекта. Российские селекционеры имеют возможность обращаться к этой коллекции для получения интересных и перспективных образцов, которые они включают в свои селекционные программы. Коллекция ВИР — уникальный генетический банк, представленный как стародавними сортами и дикими формами, так и новыми селекционными формами, что особенно актуально в настоящее время климатических перемен.

Селекционно-семеноводческий центр — наиболее крупный отдел, так как выполняет основные работы. В штатном составе данного отдела находятся лаборанты, специалисты и научные сотрудники отделов селекции, технологии и семеноводства. Роли членов команды в проекте определяются менеджером-руководителем проекта, им же осуществляется контроль всех этапов проекта (табл. 2).

Таблица 2

Роли участников проекта

Должность ответственного лица	Роль в проекте	Функции в проекте	Требуемые результаты
Руководитель ФГБНУ «АНЦ»	Заказчик	Определение необходимости начала работ по созданию сорта	Контроль и утверждение всех этапов проекта
Руководитель ССЦ	Руководитель проекта	Курирование всех этапов проекта	Согласование всех этапов проекта
Зав.отделом экономики	Главный экономист	Курирование экономической части проекта	Контроль эффективности проекта
Специалист отдела экономики	Ведущий экономист	Исполнение работ в экономической части проекта	Сметное проектирование
Лаборатория селекции	Селекционер	Курирование селекционной работы	Оценка и создание селекционного материала для нового сорта
	Лаборант	Исполнение селекционной работы	Проведение всех этапов селекционного процесса
	Специалист		
	Научный сотрудник		

Должность ответственного лица	Роль в проекте	Функции в проекте	Требуемые результаты
Специалист отдела маркетинга	Аналитик	Анализ данных экономического и маркетингового отделов, селекционера	Курирование соответствия создаваемого сорта потребностям рынка
В.н.с отдела семеноводства	Семеновод	Размножение нового сорта	Получение достаточного количества семян нового сорта для реализации предприятиям АПК
Зав. отделом маркетинга	Главный маркетолог	Курирование поиска рынка сбыта полученной продукции	Заключение договоров с предприятиями АПК на реализацию семян нового сорта для
Специалист отдела маркетинга	Маркетолог	Исполнение работ по поиску рынка сбыта полученной продукции	

Table 2

Roles of project participants

Position of Responsible Person	Role in the project	Functions in a project	Required Results
Head of Omsk Agrarian Scientific Center	Customer	Determination of the need to start work on the creation of a variety	Control and approval of all stages of the project
Head of Breeding center	Project Manager	Supervision of all stages of the project	Coordination of all stages of the project
Head of Department of Economics	Head economist	Supervision of economic part of the project	Project efficiency control
Economics Specialist	Lead Economist	Execution of work in economic part of the project	Estimated design
Breeding laboratory	Breeder	Supervision of selection work	Evaluation and creation of breeding material for a new variety
	Laboratory assistant	Execution of selection work	Carrying out all stages of the selection process
	Specialist		
	Researcher		
Marketing Department Specialist	Analyst	Data analysis of economic and marketing departments, breeder	Supervising the compliance of the created variety with market needs
Senior Researcher from Seed Department	Seed grower	Reproduction of a new variety	Producing a sufficient number of seeds of a new variety for sale to agro-industrial enterprises
Head of marketing department	Chief marketer	Supervising the search for a market for the products received	Conclusion of contracts with agro-industrial complex enterprises for the sale of seeds of a new variety
Marketing Department Specialist	Marketer	Execution of work to find a market for the products received	

Для успешной реализации проекта была проработана стратегия взаимодействия участников проекта (табл. 3). Следует обратить внимание на возможность получения поддержки всех участников проекта как внутри организации, так и сторонних участников (ВИР, предприятия сельхозтоваропроизводителя).

Таблица 3

Стратегия взаимодействия участников проекта

Должность ответственного лица	Приоритеты, цели, интересы	Тип поведения, который предположительно продемонстрирует сторона	Наиболее вероятное отношение участника к проекту	Как можно заручиться поддержкой участника проекта
Поставщик проекта	Научные и практические интересы	Поддержка	Позитивное	Совместные научные публикации по итогам проведенных исследований
Заказчик ФГБНУ «Омский АНЦ»	Научные и практические интересы	Поддержка	Позитивное	Укрепление позиций ФГБНУ «Омский АНЦ» на рынке
Руководитель проекта	Научные и практические интересы	Поддержка	Позитивное	– Выплата премии по итогам удачной работы; – выплата роялти по итогам внедрения сорта в производство
Главный экономист	Практические интересы	Поддержка	Позитивное	– Выплата премии по итогам удачного выполнения проекта
Ведущий экономист	Практические интересы	Поддержка	Позитивное	– Выплата премии по итогам удачного выполнения проекта
Селекционер	Научные и практические интересы	Поддержка	Позитивное	– Включение сотрудников подразделений в авторы сорта; – выплата премии по итогам удачного выполнения проекта; – выплата роялти по итогам внедрения сорта в производство; – совместные научные публикации по итогам проведенных исследований
Лаборант		Поддержка	Позитивное	
Специалист		Поддержка	Позитивное	
Научный сотрудник		Поддержка	Позитивное	
Семеновод		Поддержка	Позитивное	
Аналитик	Практические интересы	Поддержка	Позитивное	Выплата премии по итогам удачного выполнения проекта
Главный маркетолог				
Маркетолог				

Table 3

The strategy of interaction between project participants

Position of the responsible person	Priorities, goals, interests	The type of behavior expected	The most likely attitude of the participant to the project	How to get support from the project participant
Project Supplier	Scientific and practical interests	Support	Positive	Joint scientific publications on the results of research
Customer – head of Omsk Agrarian Scientific Center	Scientific and practical interests	Support	Positive	Strengthening the positions of Omsk Agrarian Scientific Center in the market
Project Manager	Scientific and practical interests	Support	Positive	– Payment of bonuses based on the results of successful work; – payment of royalties following the introduction of a variety into production
Head economist	Practical interests	Support	Positive	– Payment of bonuses based on the results of the successful implementation of the project

Position of the responsible person	Priorities, goals, interests	The type of behavior expected	The most likely attitude of the participant to the project	How to get support from the project participant
Lead Economist	Practical interests	Support	Positive	- Payment of bonuses based on the results of the successful implementation of the project
Breeder	Scientific and practical interests	Support	Positive	- Inclusion of employees of departments in the authors of the variety; - payment of a bonus based on the results of the successful implementation of the project; - payment of royalties following the introduction of a variety into production; - joint scientific publications based on the results of the research
Laboratory assistant		Support	Positive	
Specialist		Support	Positive	
Researcher		Support	Positive	
Seed grower		Support	Positive	
Analyst	Practical interests	Support	Positive	Bonus payment based on the successful completion of the project
Chief marketer				
Marketer				

Для проекта определены основные риски (табл. 4), в их число входят и рост цен, и инфляция, и низкая оплата труда сотрудников. Безусловно, данные риски относятся к глобальным экономическим, однако и они имеют решение на локальных уровнях. Определение рисков проекта заранее позволяет спрогнозировать и предотвратить срыв его реализации. Успешное выполнение проекта требует контроля каждого его этапа.

Таблица 4

План управления рисками проекта

№	Причина	Риск	Последствия	Вероятность*	Степень воздействия*	Важность*	План предотвращения риска	План реагирования при возникновении риска
1	Слабое исполнение программы по стратегии развития	Невключение нового сорта в Госреестр	Увеличение сроков проекта	0,4	0,7	0,28	Контроль на каждом этапе испытания	Одновременная передача на ГСИ 2–3 сортов
2	Рост цен	Увеличение стоимости оборудования	Увеличение сроков проекта	0,4	0,7	0,28		Включение в дополнительные расходы
3	Инфляция	Срыв сроков поставок материально-технического оснащения	Увеличение стоимости проекта	0,6	0,7	0,42		Включение в бюджет непредвиденных расходов

Окончание табл. 3

№	Причина	Риск	Последствия	Вероятность*	Степень воздействия*	Важность*	План предотвращения риска	План реагирования при возникновении риска
4	Низкая оплата труда	Саботаж сотрудников	Увеличение сроков проекта	0,4	0,7	0,28	Контроль на каждом этапе испытания	Четкое распределение величины оплаты труда сотрудника. Создание условий для карьерного роста
5	Низкая мотивация	Отказ от участия в проекте	Поиск новых участников	0,3	0,4	0,12		Участие достаточного количества сотрудников в разработке проекта

Примечание: * – оценка по 1-балльной системе.

Table 4

Project risk management plan

№	Reason	Risk	Aftereffects	Probability*	Degree of impact*	Importance*	Risk prevention plan	Risk response plan
1	Weak implementation of the development strategy program	Non-inclusion of a new variety in the State Register	Project time extension	0.4	0.7	0.28	Control at every stage of the test	Simultaneous transmission of 2–3 varieties to state variety testing
2	Price rise	Increasing the cost of equipment	Project time extension	0.4	0.7	0.28		Inclusion in additional costs
3	Inflation	Failure to meet deadlines for the supply of material and technical equipment	Increasing project cost	0.6	0.7	0.42		Inclusion in the budget of contingencies
4	Low pay	Employee sabotage	Project time extension	0.4	0.7	0.28		Clear distribution of the amount of remuneration of the employee
5	Low motivation	Refusal to participate in the project	Search for new members	0.3	0.4	0.12		Creating conditions for career growth

Note: * – score on a 1-point system.

Разрабатываемый проект направлен на создание и внедрение в производство нового перспективного сорта, поэтому основное направление проработки маркетингового плана — рассмотрение коммуникаций для реализации проекта. К внешним стейкхолдерам относятся предприятия переработки, частные предприниматели и базовые хозяйства (табл. 5), к внутренним — селекционеры, технологи, семеноводы, специалисты экономического и маркетингового отделов (см. табл. 3).

Таблица 5

Сегменты рынка

№	Основные группы	Требования к продукту	Прогнозируемый объем сбыта, 1 сорт
1	Перерабатывающие предприятия	Высокое качество зерна (в соответствии с ГОСТом)	50 т зерна в год
2	Частные предприниматели	Высокое качество зерна (в соответствии с ГОСТом)	100 т зерна в год
3	Базовые хозяйства	Высокая урожайность нового сорта пивоваренного ячменя	350 т семян в год

Table 5

Market segments

№	Main groups	Product Requirements	Projected sales volume, 1 grade
1	Processing enterprises	High grain quality (in accordance with GOST)	50 tons of grain per year
2	Private entrepreneurs	High grain quality (in accordance with GOST)	100 tons of grain per year
3	Basic farms	High yield of a new variety of malting barley	350 tons of seeds per year

Для реализации стратегии развития рынка (по И. Ансоффу) имеются следующие условия:

- 1) в ФГБНУ «Омский АНЦ» накоплен положительный опыт создания и внедрения в производство новых сортов различных сельскохозяйственных культур;
- 2) предприятия АПК нуждаются в качественных семенах высокоурожайного и высококачественного отечественного сорта;
- 3) на рынке наблюдается дефицит сырья отечественного производства;
- 4) рост спроса на готовую продукцию сельскохозяйственного производства;
- 5) ФГБНУ «Омский АНЦ» обладает достаточным капиталом для реализации проекта.

Тактические решения для реализации данной стратегии:

- 1) повышение осведомленности предприятия АПК о качественных семенах высокоурожайного и высококачественного отечественного сорта;

2) повышение осведомленности предприятий по переработке сырья о высококачественном отечественном сырье;

3) исходя из относительно низкой себестоимости сырья (за счет отсутствия длительных грузоперевозок), возможно увеличить реализационную стоимость сырья;

4) ключевое конкурентное преимущество — адаптивный сорт, способный формировать стабильно высокий урожай вне зависимости от погодных условий.

Основной продукт проекта — продажа лицензии предприятиям АПК для выращивания нового сорта; реализация сырья перерабатывающим предприятиям.

Реализация производится посредством работы отдела семеноводств, который осуществляет размножение более чем 50 сортов. Ежегодно производится более 800 т оригинальных и свыше 15000 т семян высших репродукций. Отработанная схема семеноводства предусматривает переход на 100 % сортовых посевов за 4 года. Для этого производство семян элиты обеспечивает до 6 % посевов от общей площади, занятой зерновыми и зернобобовыми культурами.

Стратегия продвижения сортов основана на использовании системы ускоренного размножения и внедрения сортов на основе Российской научно-производственной системы «Сибирские семена». Система создана в 1980-х гг. и эффективно работает более 30 лет. В ее состав в разные годы входило от 60 до 120 хозяйств и организаций АПК из Российской Федерации и Республики Казахстан. В настоящее время в состав системы входят 57 сельскохозяйственных предприятий, большинство из которых со статусом элитно-семеноводческих хозяйств. РНПС «Сибирские семена» является уникальным в России объединением, где через сеть хозяйств ведется ускоренное размножение новых сортов, их научное сопровождение и внедрение в производство.

Сорта Омского АНЦ имеют широкий ареал распространения и возделываются как в регионах РФ (Башкортостане, Татарстане, Уральском, Западной и Восточной Сибири), так и в Республике Казахстан (Павлодарской, Североказахстанской, Кустанайской, Восточно-казахстанской, Акмолинской областях) на площади 10 млн га. Площади под оригинальными семенами составляют 30...40 тыс. га, элитой — 300 тыс. га. К 2025 г. планируется увеличение посевных площадей до 11,5 млн га, в т. ч. под оригинальными семенами 45 тыс. га.

Заключение

Таким образом, четкая организация крайне необходима для эффективности селекционных программ. Одним из этапов планирования является проработка организационной структуры проекта: четкое определение роли каждого его участника и установление их ответственности. Управление рисками и взаимодействием исполнителей — это один из важнейших подходов к управлению проектом. В результате исследовательской разработки составлен базовый проект (план) по реализации селекционных программ в производственных условиях, который может быть адаптирован и применен в деятельности.

Библиографический список

1. Афанасенкова С.А. Проектная деятельность как инструмент популяризации научных знаний и экологического просвещения в деятельности творческого объединения «проектная лаборатория» // Конференциум АСОУ: сборник научных трудов и материалов научно-практических конференций. 2019. № 1. С. 160–169.
2. Арыкбаев Р.К. Экономические аспекты продовольственной безопасности России в современных условиях // Прикаспийский международный молодёжный форум агропромтехнологий и продовольственной безопасности. Астрахань, 2018. С. 134–136.
3. Белоусова Р.Н. Влияние экономических санкций на состояние экономической безопасности РФ // Молодой ученый. 2015. № 20. С. 215–220.
4. Асауленко Е.В., Струк А.Ю. Использование проектного подхода органами государственной власти в целях стимулирования инновационной деятельности // Вестник университета. 2016. № 6. С. 166–170.
5. Валькова Т.В., Бабаков И.Н. Оценка современного состояния сельскохозяйственного производства в регионе как предварительный этап инновационного проектирования в агропромышленном комплексе // Основы проектной деятельности в агропромышленном комплексе. 2018. Вып. 3. С. 46–52.
6. ИONOVA Л.П. Основы инновационной проектной деятельности в растениеводстве // Основы проектной деятельности в агропромышленном комплексе. 2018. Вып. 3. С. 56–59.
7. Акмаева Р.И., Айтпаева А.А. Управление инновационными проектами в растениеводстве и методы их оценки // Основы проектной деятельности в агропромышленном комплексе. 2018. Вып. 3. С. 5–18.
8. Кыштымова Е.А., Шманева А.Ю. Использование методов SWOT- и PEST-анализа для оценки результатов деятельности современной организации // Вестник ОрелГИЭТ. 2017. № 3(41). С. 33–37.
9. Полянин А.В. Концепция денежных потоков предприятия по инвестиционной деятельности // Экономические науки. 2008. № 46. С. 303–306.
10. Николаев П.Н., Юсова О.А. SWOT-анализ как этап проектирования сорта // Аграрная наука в условиях глобальных вызовов мирового продовольственного кризиса: проблемы, тенденции, пути решений: материалы Междунар. науч. заоч. конф., посвящ. 55-летию Сиб. науч.-исследоват. ин-та птицеводства. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2022. С. 480–485.
11. Грахов В.П., Кислякова Ю.Г., Симакова У.Ф. Алгоритм оценки инвестиционного потенциала проектной организации // Вестник Челябинского государственного университета. 2022. № 4(462). С. 102–112. doi: 10.47475/1994-2796-2022-10410
12. Лагун А.А., Шилова И.Н. Интеграция учебной и научной деятельности в высшем учебном заведении: проблемы и пути решения // Молокохозяйственный вестник. 2015. № (2). С. 114–122.
13. Червякова Л.Д. Валидность нано в лингвистике: нанолингвистика — академическая наука или фрик-лингвистика // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 2. С. 213–220.
14. Сенько О.В. Методы эмпирического прогнозирования, основанные на устойчивых разбиениях и коллективных решениях: автореферат дисс. ... д-ра физ.-мат. наук. М., 2007. С. 3–5.
15. Морохова В.А., Бойко О.В., Борзаковская Л.В. Методические положения комплексного маркетингового анализа и прогнозирования развития рынка торгового оборудования // Научный вестник Полесья. 2018. № 1–2 (13). С. 191–198.

References

1. Afanasenkova SA. Project activity as a tool for promoting scientific knowledge and environmental education in the activities of the creative association “project laboratory”. *ASOU Conference*. 2019;(1):160–169. (In Russ.).
2. Arykbaev RK. Economic aspects of Russia’s food security in modern conditions. In: *Caspian International Youth Forum of Agro-Industrial Technologies and Food Security*. Astrakhan; 2018. p.134–136. (In Russ.).
3. Belousova RN. Influence of economic sanctions on the state of economic security of the Russian Federation. *Young scientist*. 2015;(20):215–220. (In Russ.).
4. Asaulenko EV, Struk AY. Project approach public authorities in order to stimulate innovative activity. *Vestnik universiteta*. 2016;(6):166–170. (In Russ.).
5. Valkova TV, Babakov IN. Assessment of the current state of agricultural production in the region as a preliminary stage of innovative design in the agro-industrial complex. In: *Fundamentals of design activities in the agro-industrial complex*. Astrakhan; 2019. p.46–52. (In Russ.).
6. Ionova LP. Fundamentals of innovative design activities in crop production. In: *Fundamentals of design activities in the agro-industrial complex*. Astrakhan; 2019. p.55–59. (In Russ.).

7. Akmaeva RI, Aitpaeva AA. Management of innovative projects in crop production and methods for their evaluation. *Fundamentals of project activities in the agro-industrial complex*. Astrakhan; 2019. p.5–18. (In Russ.).
8. Kyshtymova EA, Shmaneva AY. Use of the methods of SWOT and PEST analysis for estimation of the results of modern organization activity. *OrelSIET bulletin*. 2017;(3):33–37. (In Russ.).
9. Polyaniin AV. The concept of cash flows of an enterprise for investment activities. *Economic sciences*. 2008;(46):303–306. (In Russ.).
10. Nikolaev PN, Yusova OA. SWOT-analysis as a stage of variety design. In: *Agrarian science in the context of global challenges of the world food crisis: problems, trends, solutions: conference proceedings*. Omsk; 2022. p.480–485. (In Russ.).
11. Grakhov VP, Kislyakova YG, Simakova UF. Algorithm for assessment of investment potential project organization. *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2022;(4):102–112. (In Russ.). doi: 10.47475/1994–2796–2022–10410
12. Lagun AA, Shilova IN. Teaching and scientific activities integration in higher educational establishments: problems and solutions. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik*. 2015;(2):114–122. (In Russ.).
13. Chervyakova LD. Validity of nano in linguistics: is nanolinguistics academic or freak linguistics. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018;(2):213–220. (In Russ.).
14. Senko OV. *Metody empiricheskogo prognozirovaniya, osnovannye na ustoychivyykh razbieniyyakh i kollektivnykh resheniyakh* [Empirical forecasting methods based on stable partitions and collective solutions]. Moscow; 2007. (In Russ.).
15. Morokhova VA, Boyko OV, Borzakovskaya LV. Methodological provisions of complex marketing analysis and development forecast of trade equipment market. *Scientific Bulletin of Polissia*. 2018;(1–2):191–198. (In Russ.).

Об авторах:

Юсова Оксана Александровна — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией биохимии и физиологии растений, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: yusova@anc55.ru
ORCID: 0000–0003–3679–8985, AuthorID 547227

Николаев Петр Николаевич — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции зернофуражных культур, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Омский аграрный научный центр», 644012, г. Омск, пр. Королева, д. 26; e-mail: nikolaev@55anc.ru
ORCID: 0000–0002–5192–2967, AuthorID 834930

About authors:

Yusova Oksana Aleksandrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Genetics, Biochemistry and Plant Physiology, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: yusova@anc55.ru
ORCID: 0000–0003–3679–8985, AuthorID: 547227

Nikolaev Petr Nikolayevich — Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for selection of grain crops, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva ave., Omsk, 644012, Russian Federation; e-mail: nikolaev@55anc.ru
ORCID: 0000–0002–5192–2967, AuthorID 834930