



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2023 Том 18 № 1
DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал
Издается с 2006 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77–61171 от 30.03.2015 г.
Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Ответственный секретарь

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

Члены редакционной коллегии

Азизи С., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран
Астарханова Т.С., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
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
Дубенок 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
Пиговаров 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
Сычѳв 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
Чамурлиев 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 30.03.2023. Выход в свет 31.03.2023. Формат 70×100/16.

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

Усл. печ. л. 11,7. Тираж 500 экз. Заказ № 32. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов» (РУДН)

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

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

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

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



RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

2023 VOLUME 18 No. 1
DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

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
Georgy 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. Gins — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation
Alexander N. Ignatov — D. Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Andrey G. Koshaev — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation
Vyacheslav I. Kotarev — D. Sc. in Agriculture, Professor, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation
Dimtrios Koveos — PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece
Yakov V. Kuzakov — Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Göttingen, Göttingen, Germany
Ekaterina M. Lenchenko — D. Sc. in Veterinary Medicine, Professor, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
Ghasem Mohammadi-Nejad — PhD, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Dmitry V. Nikitchenko — D. Sc. in Biology, Professor, Ostankino Meat Processing Plant, Moscow, Russian Federation
Andrey E. Novikov — D. Sc. in Technology, Associate Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation
Aleksey S. Ovchinnikov — D. Sc. in Agriculture, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation
Nikolai V. Pimenov — D. Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Viktor F. Pivovarov — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation
Yury N. Pleskachev — D. Sc. in Agriculture, Professor, Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Region, Russian Federation
Vadim G. Plyushchikov — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Alexander A. Solovyov — D. Sc. in Biology, Professor of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Victor G. Sychev — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation
Alexander V. Tkachev — D. Sc. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Boris V. Usha — D. Sc. in Veterinary Medicine, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Academician of the RAS, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
Riccardo Valentini — D. Sc. in Biology, Professor, Nobel Peace Prize Laureate (2007), University of Tuscia, Viterbo, Italy
Aleksey A. Vasiliev — D. Sc. in Biology, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Morteza Yousefi — Ph.D. in Biology, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Yusupzhan A. Yuldashbaev — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
Aleksey D. Zaberezhny — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor, All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry, Moscow Region, Russian Federation
Meisam Zargar — Ph.D. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Aleksey A. Zavalin — D. Sc. in Agriculture, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

Published by the RUDN University
(Peoples' Friendship University of Russia),
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 (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

Platonova S.Y., Torres Mino C.J., Gins E.M., Gins M.S., Romanova E.V. Variability of morphological characteristics of red forms of amaranth with a high content of biologically active substances under conditions of the Moscow region (Изменчивость морфометрических показателей красноокрашенных сортов амаранта с высоким содержанием биологически активных веществ в условиях открытого грунта Московской области)9

Растениеводство

Зубкова Т.В., Виноградов Д.В. Продуктивность сельскохозяйственных культур при использовании органоминеральных удобрений на основе отработанного грибного компоста20

Митрофанов Д.В. Влияние минеральных удобрений, предшественников и почвенно-климатических условий на продуктивность проса в степной зоне Южного Урала 31

Агротехнологии и мелиорация земель

Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Поддубский А.А., Чамурлиев Г.О., Шумакова К.Б., Збукарев Р.В. Водно-физические свойства каштановых почв при разных способах мелиоративной обработки..... 45

Морфология и онтогенез животных

Карпенко Е.Н., Харлан А.Л., Зайцева Е.В. Морфологические критерии показателей почек нетопыря малого *Pipistrellus pygmaeus*59

Животноводство

Бабенков В.Ю., Хахлинов А.И., Сангаджиев Р.Д., Макарова Е.Ю., Мергульчиев О.С. Биотехнологические аспекты ускоренного воспроизводства калмыцкой мясной породы71

Басс С.П., Белоусова Н.Ф., Азимова Г.В., Гуляева А.Н. Состояние вятской породы лошадей по основным ареалам ее разведения 80

Кондрашкина К.М., Никитченко Д.В., Никитченко В.Е. Морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса «Смена 9» при различных способах выращивания 92

Генетика и селекция животных

Терлецкий В.П., Тыщенко В.И. Структура геномной ДНК в популяциях кур, выявляемая мультилокусным ДНК-зондом..... 105

Ветеринария

Сабирзянова Л.И., Коновалова Г.В., Токарь В.В. Исследования гематологических показателей при подкожном введении инъекционной формы препарата L-карнитин..... 116

Куликов Е.В., Бабичев Н.В., Тележенкова А.И., Бугров Н.С., Руденко П.А. Анализ патогенетической манифестации декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек124

Rudenko A.A., Karamyan A.S., Usenko D.S., Krotova E.A., Rogov R.V., Prozorovskiy I.E. Treatment for cholangiohepatitis in cats (Лечение кошек при холангиогепатите)135

Contents

Morphology and biochemistry of plants

Platonova S.Y., Torres Mino C.J., Gins E.M., Gins M.S., Romanova E.V. Variability of morphological characteristics of red forms of amaranth with a high content of biologically active substances under conditions of the Moscow region.....9

Crop production

Zubkova T.V., Vinogradov D.V. Influence of spent mushroom compost on crop productivity 20

Mitrofanov D.V. Effect of mineral fertilizers, forecrops and soil-climatic conditions on millet productivity in steppe zone of the Southern Urals 31

Agricultural technologies and land reclamation

Dubenok N.N., Novikov A.E., Poddubsky A.A., Chamurliev G.O., Shumakova K.B., Zbukarev R.V. Water-physical properties of chestnut soils depending on different tillage practices and irrigation regimes..... 45

Morphology and ontogenesis of animals

Karpenko E.N., Kharlan A.L., Zaitseva E.V. Morphological criteria for *Pipistrellus pygmaeus* kidney indicators59

Animal breeding

Babekov V.Y., Khakhlinov A.I., Sangadzhiev R.D., Makarova E.Y., Mergulchiev O.S. Biotechnologies for accelerated reproduction of Kalmyk cattle.....71

Bass S.P., Belousova N.F., Azimova G.V., Gulyaeva A.N. State of Vyatka horse population in regions of Russia..... 80

Kondrashkina K.M., Nikitchenko D.V., Nikitchenko V.E. Morphometric and chemical parameters of hen carcasses of ‘Smena 9’ cross raised under different conditions..... 92

Genetics and selection of animals

Terletskiy V.P., Tyshchenko V.I. Structure of genomic DNA in chicken populations revealed by multilocus DNA probe..... 105

Veterinary science

Sabirzyanova L.I., Konovalova G.V., Tokar V.V. Effect of L-carnitine administered via subcutaneous injection on hematological parameters of laboratory animals..... 116

Kulikov E.V., Babichev N.V., Telezhenkova A.I., Bugrov N.S., Rudenko P.A. Analysis of pathogenetic manifestation of decompensated intestinal dysbacteriosis in cats124

Rudenko A.A., Karamyan A.S., Usenko D.S., Krotova E.A., Rogov R.V., Prozorovskiy I.E. Treatment for cholangiohepatitis in cats135



Морфология и биохимия растений Morphology and biochemistry of plants

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-9-19

EDN OMFVUT

УДК 635.49:635.042:581.41

Научная статья / Research article

Variability of morphological characteristics of red forms of amaranth with a high content of biologically active substances under conditions of the Moscow region

Svetlana Y. Platonova¹  , Carlos J. Torres Mino², Ekaterina M. Gins¹ ,
Murat S. Gins^{1,3} , Elena V. Romanova¹ 

¹Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

²Technical University of Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

³Federal Scientific Vegetable Center, Moscow region, Russian Federation

 Svetlana.Platonova.00@mail.ru

Abstract. The study of variability of morphological features in red-colored varieties of amaranth and their correlations at different stages in the conditions of the Moscow region makes it possible to identify features that affect productivity, amount of amaranthine and other biologically active substances. After analyzing vegetative characteristics, the varietal features of amaranth plants were proved to have a smaller impact on 'root length', 'plant height' and 'number of leaves' characteristics than the cultivation conditions, especially at the initial stages (ISB (Influence share of the weather conditions) from 22 to 58 %). It follows from the phenotypic variability analysis that the genotypic component values varied significantly only at the last stages (Cvg > 35 %). The maximum values of phenotypic variability were marked in all varieties at the stage of active growth considering the 'root length' (Cve = 32...47 %) and the 'number of leaves' (Cve = 48...85 %). The generative characteristics seemed to be significantly influenced by the varietal factor (ISA (Influence share of

© Platonova S.Y., Torres Mino C.J., Gins E.M., Gins M.S., Romanova E.V., 2023



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

varietal characteristics)=40...88 %) starting from the third stage. The genotypic component of all varieties was high considering the inflorescence weight (Cvg = 75...86 %). In signs of general productivity, it was studied that the leaves (93...112 g/plant) contributed the most for amaranth forms, which mass in all varieties largely depended on weather conditions (ISB > 55 %). The interrelation of the leaves productivity was noted high with all the vegetative characteristics on phase III–V ($r = 0.71...0.92$) and with 'inflorescence mass' on phase V–VI.

Keywords: *Amaranthus* L., morphology, phenotypic variability, productivity, amaranthine

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

Article history: Received: 11 August 2021. Accepted: 2 December 2022.

For citation: Platonova SY, Torres Mino CJ, Gins EM, Gins MS, Romanova EV. Variability of morphological characteristics of red forms of amaranth with a high content of biologically active substances under conditions of the Moscow region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):9—19. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-9-19

Introduction

Amaranthus L. plants are a source of valuable bioactive compounds that could be used in various spheres of national economy. Amaranth exceeds traditional grain and vegetable crops in nutrients content especially in protein and fat; the amaranth protein is especially valuable, as it contains the optimal ratio of essential amino acids [1, 2]. Leaves and inflorescences of red amaranth forms are raw materials for a valuable food dye — amaranthine, its antioxidant properties could be compared with ascorbic acid [3].

An important feature of the amaranth is plasticity, which ensures the variability both of plant morphological characteristics and of biochemical composition of substances and their content in leaves. The wide variability of the content of various amaranth substances is designed by its genotype and conditions of plant growth: region climate, cultural practices, stage of plant development [4, 5].

The aim of this study was to design the maximum plant productivity of red amaranth forms depending on the growth stage and establish the interrelation with the quantitative characteristics of amaranth plants grown in open field in Nonchernozem zone of the Russian Federation (Moscow region).

Materials and methods

Various morphological characteristics of red amaranth varieties (Valentina, Don Pedro and Fakel) and green amaranth varieties with red inflorescences (Pamyati Kovasa and Ecu 17020) were studied at biometric analysis depending on the growth stage and weather conditions in 2013—2016 [6–8].

The methodology for field experiments was developed considering the peculiarities of field experiment in selection, variety and primary seed breeding of vegetable crops set by OST-4671–78.

Field experiment in cultivation of varieties of different amaranth species was performed in open fields of Federal Scientific Vegetable Center in 2013—2016. Amaranth

seeds were sown in open field in an ordinary way manually in the 4th decade of May. Field experiments (size of plots and sowing schemes) were carried out according to OST 4671–78. During the growing season we performed phenological observations, accounted for biometric characteristics, collected amaranth species. The phenological observations were carried out in accordance with the methodological guidelines for the study of green crops [9–12], the dates of onset of the most significant phases for amaranth plants were noted.

The obtained data were processed statistically using MS Excel spreadsheets. The necessary observations, accountings and analyzes were conducted on the techniques considering peculiarities of field experiment in breeding and crop production under the method of field experiment according to Litvinov [13].

For data processing, a scheme of two-factor experiment was used: influence of variety factor — Factor A (variety) and cultivation condition — Factor B (year) on variability of the studied characteristics. The total phenotypic dispersion is represented by decomposition into individual components: environmental variability (C_{ve} , %) and the influence of varietal factor — a genotypic component (C_{vg} , %) [13].

Results and discussion

Root length. Analyzing variability of ‘root length’ parameter, an increase in values was observed as the amaranth plants develop. The most favorable conditions for root system development in most varieties (except Valentina) were formed in 2013, when the average root length of plants was significantly higher by the beginning of flowering. Don Pedro variety had some significant differences between the years ($C_{ve} = 25...47\%$). The parameters for 2014 are characterized by a sharp transition from phase II to phase III with achieving plateau after phase III. In 2013—2014, parameters of ‘root length’ for Fakel are characterized by a sharp increase from phase I to phase III. In 2015—2016 the values almost immediately achieve plateau: after phase I in 2015 and after phase II in 2016 [14].

The following features can be distinguished in green varieties. Pamyati Kovasa demonstrates slow growth of root system at the initial stages of its development only under unfavorable 2015 conditions. Ecu 17020 variety had the least susceptibility to the changing weather conditions during its vegetative growth ($C_{ve} < 20\%$) [9, 14].

The results of two-factor analysis demonstrated that the varietal factors (factor A) of the amaranth plant have a smaller impact on root system growth than cultivation conditions (factor B — the year), especially at the initial development stages (Fig. 1). The influence of factor A ranged from 1 to 30 %, and factor B — from 20 to 57 %.

This is also confirmed by low values of genotypic component of phenotypic variability of ‘root length’ characteristics ($C_{vg} < 15\%$). The maximum values of ecological variability for all variety characteristics were noted at the stage of active growth ($C_{ve} = 29...44\%$).

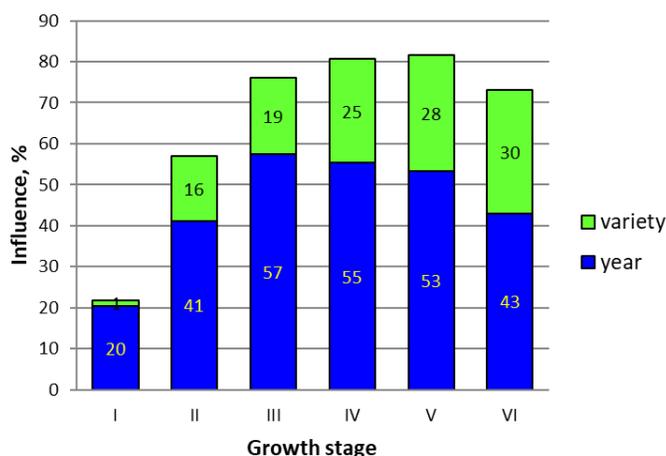


Fig. 1. Influence of genotype – factor A (variety) and cultivation conditions – factor B (year) on root length of amaranth varieties at different growth stages (2014–2016)

Height of plants. The highest growth parameters were marked in Ecu 17020 and Don Pedro, while Pamyati Kovasa amaranth had the lowest growth. The maximum height of plants was in 2013 (Fig. 2).

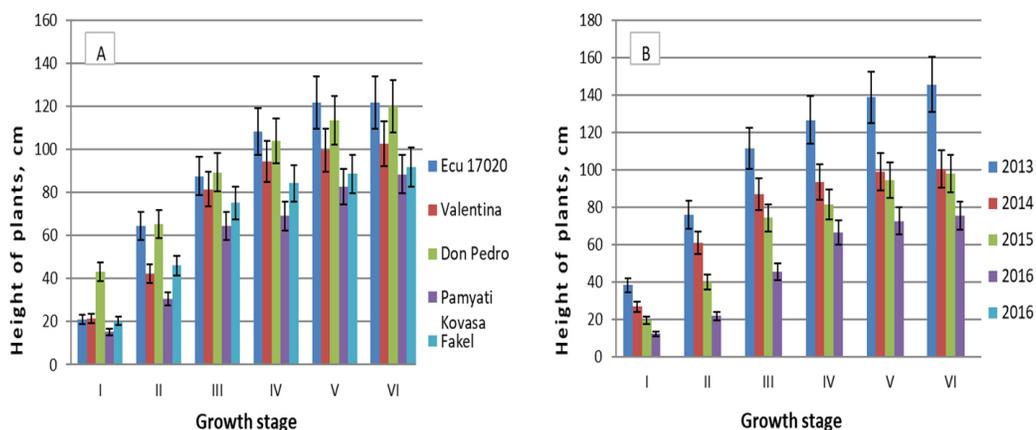


Fig. 2. Height of amaranth plants depending on variety (A), growth stage and research year (B)

Under the conditions of growing red variety Valentina, schedules for 2014–2015 reach a plateau at reproductive stages, and 2013 curve is constantly growing. Don Pedro’s plant height curves have been observed to plateau at different stages of plant development. 2013 and 2014 can be considered for FakeI as reaching a plateau after phase III, and the indicators for 2015–2016 differ significantly at the early stages.

In 2013 and 2014, for green varieties Pamyati Kovasa and Ecu 17020, we can note a constant increase in ‘plant height’ curves. At the same time, in 2015—2016, graphs for Pamyati Kovasa reach plateau after phase III, and phase IV (See Fig. 2) [15, 16].

It should be noted that in different years the influence of year conditions was essential in phase II–VI $IS_B > 52\%$. The greatest varietal differences were noted at the last stages ($Cvg > 35\%$).

Number of leaves. The patterns above are similar to changing the ‘number of leaves’ characteristic. The influence of year conditions was significant ($ISB > 34\%$), and ‘plant height’ reached its maximum starting from phase III, $ISB > 82\%$. The differences between 2013 and 2015—2016 are the most noticeable. In 2014, there were no significant differences compared to 2013 in the active growth phase, but the number of leaves on plants was significantly lower at the beginning of budding and later stages [14, 15].

From the analysis of phenotypic variability, it follows that the values of genotypic component ranged throughout the ontogenesis ($Cvg = 5...77\%$). The values of environmental variability coefficients were the largest for Pamyati Kovasa variety ($Cvg = 34\%$); at other stages, the influence of year conditions was significant for all varieties ($Cve = 52...87\%$) depending on the variety and phase of development.

Plant productivity by total leaf weight. Some similar features in the development dynamics were identified for the ‘total leaf weight’ characteristic, however, the influence of weather conditions was significant at all stages of development, in contrast to the varietal factor ($ISA < 15$).

2013 was distinguished by high values at phase IV for Don Pedro, Fakel and Pamyati Kovasa varieties; at phase V — for Valentina variety. For Ecu 17020, the leaf mass after phase IV remained unchanged till the end of the growing season.

On average over the years, the highest productivity was noted in the three varieties — Don Pedro, Fakel and Pamyati Kovasa at the beginning of seed formation (95...112 g/plant). In varieties Valentina and Eku 17020 (more than 120 g/plant) — at the ripening stage (V phase). Varietal differences are more significant than ‘leaf mass’ and ‘number of leaves’ [13, 15, 16].

Inflorescence length. Among the studied varieties, two groups can be distinguished: with large inflorescences (Fakel, Valentina, Pamyati Kovasa) and small inflorescences (Don Pedro and Ecu 17020). Comparing the values for different years, general patterns were found: a high growth rate of inflorescences at the stage ‘beginning of budding-flowering’ and its slowdown to phase IV (Fig. 3). The most optimal conditions for Valentina and Don Pedro were in 2015; for Fakel and Ecu 17020 — in 2013 [17, 18].

Significant fluctuations in the coefficient of phenotypic variability were observed in late-ripening varieties of amaranth Don Pedro ($Cve = 36...87\%$) and Eku 17020 ($Cve = 25...84\%$) with maximum values in phases IV and V ($Cve = 72...94\%$). The values of genotypic component had the maximum variation in phase IV ($Cvg = 43\%$).

These features explain the more significant influence of genotype on development of reproductive system of amaranth plants. The share of influence of this factor at the stages of maturation was more than 45%, which is significantly higher than that of

plant height (ISA < 25 %), root length (ISA < 30 %), and number of leaves, (ISA ≤ 5 %). At the same time, the effect of cultivation conditions, factor B, is significantly less (IBS < 37) (Fig. 3).

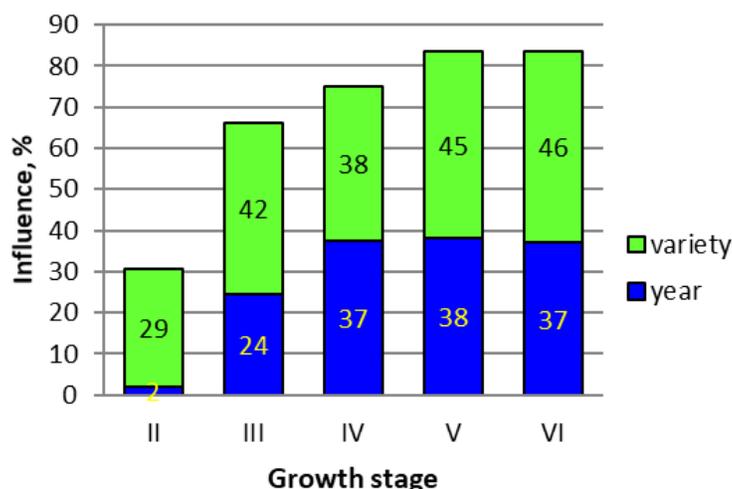


Fig. 3. Influence of genotype – factor A (variety) and cultivation conditions – factor B (year) on inflorescence length of amaranth varieties at different growth stages (2014–2016)

Inflorescence mass. On this basis, two groups of varieties can be distinguished: Valentina, Fakel and Pamyati Kovasa with large inflorescences (> 25 g); Don Pedro and Ecu 17020 with small inflorescences (< 10 g). Varietal differences were observed at all stages of inflorescence development (ISA = 43...87 %), and influence of year was more significant at budding stage (ISA = 37 %). The genotypic component of variability for inflorescence mass in all varieties was distinguished by high values of the studied trait in phases II–VI (Cvg = 75...86 %).

In the first group, Fakel and Pamyati Kovasa have a similar dynamics of inflorescence mass growth in all years, while in 2016 Valentina showed a sharp decrease in this indicator. In the second variety group, Eku 17020 was the most susceptible to changes in weather conditions and had a comparable mass of inflorescences in 2013 and 2014 [16, 19].

Analyzing the correlation of the total leaf productivity, it should be noted that it should be noted that in all studied varieties, high positive correlations were noted for ‘root length’, ‘plant height’ and ‘number of leaves’ in phases III and IV and for ‘number of leaves’ and ‘plant height’ in phases II and V ($r > 0.84$). The ratio of ‘leaf mass’ with generative characteristics is as follows: for ‘inflorescence length’ it is positive at stages II and V, for ‘inflorescence mass’, an increase in correlation with the last phase of inflorescence development can be noted ($r = 0.8$).

At the same time, significant relationships between the mass of inflorescence and other morphological characteristics of plants (root length, plant height, number of leaves) were not found in the studied varieties [8, 20].

Conclusions

Grouping varieties according to the total productivity of vegetative mass (leaves + inflorescence) depends on the phase of development — Pamyati Kovasa and Eku 17020 had the largest plant mass (> 100 g/plant) at the flowering stage, at the stage of seed formation this indicator was comparable in all varieties (115...121 g/plant), and at the stage of beginning of seed formation, Valentina could be distinguished by this parameter (more than 140 g/plant).

The greatest differences between the studied varieties in the group were noted for ‘plant height’ (Cvg > 25 %), the coefficient of genetic variability for number and weight of leaves was 15...27 % depending on the growth stage; for length of root and inflorescence Cvg < 15 %. Eku 17020 variety differs in plant height, Don Pedro — in number of leaves, Valentina and Eku 17020 — in leaf mass, Pamyati Kovasa — in inflorescence length, Fakel — in inflorescence mass.

Thus, the overall productivity (leaves and inflorescences) in the open ground of the Moscow region is due to early maturity, varietal characteristics of the reaction rate to changing weather conditions in the region, year of cultivation and the ratio between the main quantitative traits at different growth stages of amaranth plants.

References

1. Rakhimov VM. *Razrabotka elementov sortovoi tekhnologii vyrashchivaniya listovoi massy amaranta v kachestve syr'ya dlya pishchevoi promyshlennosti* [Development of elements of varietal technology for growing amaranth leaf mass as a raw material for food industry]. Moscow; 2006. (In Russ.).
2. Mosyakin SL, Robertson KR. New infrageneric taxa and combinations in *Amaranthus* (Amaranthaceae). *Annales Botanici Fennici*. 1996;33(4):275–281.
3. Zelenkov VN, Zaksas NP. Chemical and mineral composition of various parts of amaranth (*Amaranthus cruentus*). In: *Introduction of non-traditional and rare agricultural plants: conference proceedings. Vol.1*. Penza; 2000. p.18–19. (In Russ.).
4. Das S. Systematics and taxonomic delimitation of vegetable, grain and weed amaranths: a morphological and biochemical approach. *Genet Resour Crop Evol*. 2012;59(2):289–303. doi: 10.1007/s10722-011-9684-7
5. Downham A, Collins P. Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science and Technology*. 2000;35(1):5–22. doi: 10.1046/j.1365-2621.2000.00373.x
6. Gins MS, Gins VK, Kononkov PF, Pivovarov VF, Gins EM. Technological elements to grow leaf biomass in amaranth with increased content of antioxidants for development of functional products and for prophylactic purpose. *Vegetable crops of Russia*. 2016;(4):90–95. (In Russ.). doi: 10.18619/2072-9146-2016-4-90-95
7. Gins VK, Motyleva SM, Kulikov IM, Tumanyan AF, Romanova EV, Baikov AA, Gins E.M., Terekhin A.A., Gins M.S. Antioxidant profile of *Amaranthus paniculatus* L. of the Pamyat of Kovas variety. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on World Technological Trends in Agribusiness*. Institute of Physics Publishing; 2021. p.012152. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012152
8. Gins MS, Torres M, Gins EM, Platonova SY, Romanova EV, Morgo H, Kononkov P.F. Phenological characteristics of amaranth varieties grown in Russia and Ecuador. *Theoretical and Applied Problems of Agro-industry*. 2015;(1):14–22. (In Russ.).
9. Nieto CC. El cultivo de amaranto *Amaranthus* spp. una alternativa agronómica para Ecuador. *Publicación Miscelánea*. 1989;52:27.
10. Georgetti SR, Casagrande R, Di Mambro VM, Azzolini A, Forseka MJ. Evaluation of the antioxidant activity of different flavonoids by the chemiluminescence method. *AAPS PharmSci*. 2003;5(2):20. doi: 10.1208/ps050220

11. Sarker U, Oba S. Salinity stress enhances color parameters, bioactive leaf pigments, vitamins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in selected *Amaranthus* leafy vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019;99(5):2275–2284. doi: 10.1002/jsfa.9423
12. Komarova RA, Sazonova LV, Kazakova AA. *Metodicheskie ukazaniya po selektsii i semenovodstvu zelenykh ovoshchnykh kul'tur v zashchishchennom grunte* [Methodological guidelines for the selection and seed production of green vegetable crops in protected soil]. Leningrad: VIR publ.; 1976. (In Russ.).
13. Litvinov SS. *Metodika polevogo opyta v ovoshchevodstve* [Methodology of field experiment in vegetable growing]. Moscow: Russian Agricultural Academy publ.; 2011. (In Russ.).
14. Platonova SY, Torres Mino CJ, Gins EM, Gins MS, Romanova EV. Phenological traits of red amaranth varieties with a high content of amaranthine cultivated in open fields of Moscow region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021;16(2):107–117. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-107-117
15. Peliy AF, Gins MS, Burlutskiy VA, Borodina ES, Mazurov VN. Influence of fertilizers, sowing dates on yield and quality of amaranth variety Kizlyarets on the Non-Chernozem soils of the Russian Federation. *Theoretical and Applied Problems of Agro-industry*. 2021;(1);7–11. (In Russ.). doi: 10.32935/2221-7312-2021-47-1-7-1
16. Torres Mino CJ. *Otsenka sortov amaranta s ispol'zovaniem biokhicheskikh i molekulyarnykh metodov dlya sozdaniya funktsional'nykh produktov pitaniya na osnove listovoi biomassy* [Evaluation of amaranth varieties using bio-chemical and molecular methods for creating functional food products based on leaf biomass]. Moscow; 2015. (In Russ.).
17. Lazanyi J, Chappan G, Kaposci J, Fazekas M. Biomass production of some cultivated and wild amaranth species. *Acta Agronomica Hungarica*. 1990;39(1–2):11–19.
18. Gins MS, Torres Mino CJ, Gins EM. Properties of staining extract from inflorescences and leaves of amaranth and its application potential. *Vegetable crops of Russia*. 2014;(4):84–87. (In Russ.). doi: 10.18619/2072-9146-2014-4-84-87
19. Griffiths JC. Coloring Foods and Beverages. *Food Technology (Chicago)*. 2005;59(5):38–44.
20. Sleugh BB, Moore KJ, Brummer EC, Knapp AD, Russell J, Gibson L. Forage Nutritive Value of Various Amaranth Species at Different Harvest Dates. *Crop Science*. 2001;41(2):466–472. doi: 10.2135/cropsci2001.412466x

About authors:

Platonova Svetlana Yurievna — Candidate of Agricultural Sciences, Researcher, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: Svetlana.Platonova.00@mail.ru
ORCID: 0000-0003-3816-3692

Torres Mino Carlos Javier — Candidate of Agricultural Sciences, Director of Research, Technical University of Cotopaxi, Av Simon Rodriguez, Sector San Felipe, Latacunga, 050101, Ecuador; e-mail: carlosjavier12@yahoo.com

Gins Ekaterina Muratovna — PhD student, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Junior Researcher, Russian Potato Research Center, 23 Lorkha st., Kraskovo vil., Lyubertsy district, Moscow region, 140051, Russian Federation; e-mail: katya.888888@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-5685-6305

Gins Murat Sabirovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; Head of Laboratory of Physiology and Biochemistry, Introduction and Functional Products, Federal Scientific Vegetable Center; 14 Selektsionnaya str., VNISSOK vil., Odintsovo district, Moscow region, 143080, Russian Federation, e-mail: anirr@bk.ru
ORCID: 0000-0001-5995-2696; Scopus Author ID: 6603575024

Romanova Elena Valerievna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: evroma2008@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-8287-5462

Изменчивость морфометрических показателей красноокрашенных сортов амаранта с высоким содержанием биологически активных веществ в условиях открытого грунта Московской области

С.Ю. Платонова¹  , К.Х. Торрес Миньо²,
Е.М. Гинс¹ , М.С. Гинс^{1,3} , Е.В. Романова¹ 

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

²Технический университет Котопакси, г. Лакатунга, Эквадор

³Федеральный научный центр овощеводства,
поселок ВНИИССОК, Московская обл., Российская Федерация

 Svetlana.Platonova.00@mail.ru

Аннотация. Изучение изменчивости морфологических признаков красноокрашенных сортов амаранта и их корреляционных взаимосвязей на разных стадиях онтогенеза в условиях Московской области позволило определить особенности, влияющие на формирование продуктивности, получение максимального количества амарантина и других биологически активных веществ. Анализ вегетативных признаков выявил, что сортовые особенности растений амаранта оказывают меньшее влияние на длину корня, высоту растений и число листьев, чем условия выращивания, особенно на начальных стадиях (ДВ_в от 22 до 58 %). Исследование фенотипической изменчивости показало, что значения генотипической составляющей изменчивости варьировали на последних стадиях созревания (Cvg > 35 %). На начальных стадиях высокой изменчивостью отличились вегетативные признаки: длина корня (Cve = 32...47 %) и число листьев (Cve = 48...85 %) — в зависимости от условий года. В репродуктивный период развития у всех генеративных признаков фактор сорта был наиболее существенным начиная со стадии цветения (ДВА = 40...88 %). Значения признака — массы соцветий — варьировали в зависимости от влияния генотипической составляющей изменчивости всех сортов (Cvg = 75...86 %). Из анализа признаков общей продуктивности растений следует, что основной вклад у сортов амаранта вносят листья (93...112 г/растение), масса которых зависит от погодных условий (ДВ_в > 55 %). Высокими корреляциями были отмечены взаимосвязи общей продуктивности листьев со всеми вегетативными признаками на III–V фазе ($r = 0,71...0,92$) и массой соцветия на V–VI фазах созревания.

Ключевые слова: *Amaranthus L.*, морфология, фенотипическая изменчивость, продуктивность, амарантин

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

История статьи: поступила в редакцию: 11 августа 2021 г.; принята к публикации: 2 декабря 2022 г.

Для цитирования: Platonova S.Y., Torres Mino C.J., Gins E.M., Gins M.S., Romanova E.V. Variability of morphological characteristics of red forms of amaranth with a high content of biologically active substances under conditions of the Moscow region // *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023. Т. 18. № 1. С. 9—19. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-9-19

Библиографический список

1. Рахимов В.М. Разработка элементов сортовой технологии выращивания листовой массы амаранта в качестве сырья для пищевой промышленности: дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2006. 120 с.
2. Mosyakin S.L., Robertson K.R. New infrageneric taxa and combinations in *Amaranthus* (Amaranthaceae) Finnish Zoological and Botanical Publishing Board // *Annales Botanici Fennici*. 1996. Vol. 33. № 4. P. 275–281.
3. Зеленков В.Н., Закас И.П. Химический и минеральный состав различных частей амаранта (*Amaranthus cruentus*) // Интродукция нетрадиционных и редких сельскохозяйственных растений: материалы III Междунар. науч.-производ. конф. Пенза, 2000. Т. 1. С. 18–19.
4. Das S. Systematics and taxonomic delimitation of vegetable, grain and weed *Amaranthus*: a morphological and biochemical approach // *Genet Resour Crop Evol*. 2012. Vol. 59. № 2. P. 289–303. doi: 10.1007/s10722-011-9684-7
5. Downham A., Collins P. Colouring our foods in the last and next millennium // *International Journal of Food Science and Technology*. 2000. Vol. 1. P. 21–22. doi: 10.1046/j.1365-2621.2000.00373.x
6. Гинс М.С., Гинс В.К., Кононков П.Ф., Пивоваров В.Ф., Гинс Е.М. Элементы технологии выращивания биомассы амаранта с повышенным содержанием антиоксидантов для получения функциональных продуктов профилактического назначения // *Овощи России*. 2016. № 4(33). С. 90–95. doi: 10.18619/2072-9146-2016-4-90-95
7. Gins V.K., Motyleva S.M., Kulikov I.M., Tumanyan A.F., Romanova E.V., Baikov A.A., Gins E.M., Terekhin A.A., Gins M.S. Antioxidant profile of *Amaranthus paniculatus* L. of the Pamyat of Kovas variety // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing. 2021. Vol. 624. P. 012152. doi: 10.1088/1755-1315/624/1/012152
8. Гинс М.С., Торрес Миньо К.Х., Гинс Е.М., Платонова С.Ю., Романова Е.В., Хакоме Могро Э.Х., Кононков П.Ф. Фенологическая характеристика сортов амаранта, выращенных в России и Эквадоре // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2015. № 1(22). С. 14–22.
9. Nieto C. El cultivo de amaranto (*Amaranthus* spp.) una alternativa agronómica para Ecuador // *Publicación Miscelánea*. 2010. Vol. 52. P. 27.
10. Georgetti S.R., Casagrande R., Di Mambro V.M., Azzolini A., Forseka M.J. Evaluation of the antioxidant activity of different flavonoids by the chemiluminescence method // *AAPS Pharm Sci*. 2003. Vol. 5. № 2. P. 76–78. doi: 10.1208/ps050220
11. Sarker U., Oba S. Salinity stress enhances color parameters, bioactive leaf pigments, vitamins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in selected *Amaranthus* leafy vegetables // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019. Vol. 99(5). P. 2275–2284. doi: 10.1002/jsfa.9423
12. Комарова Р.А., Сазонова Л.В., Казакова А.А. Методические указания по селекции и семеноводству зеленых овощных культур в защищенном грунте. Л.: ВИР, 1976. 98 с.
13. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Россельхозакадемия, 2011. 649 с.
14. Платонова С.Ю., Торрес Миньо К.Х., Гинс Е.М., Гинс М.С., Романова Е.В. Фенологические особенности развития красноокрашенных сортов амаранта в условиях открытого грунта Московской области с высоким содержанием натурального пигмента амарантина // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2021. Т. 15. № 2. С. 107–117. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-107-117
15. Пэлий А.Ф., Гинс М.С., Бурлуцкий В.А., Бородина Е.С., Мазуров В.Н. Влияние удобрений, сроков посева на урожайность и качество амаранта сорта Кизлярец на Нечерноземных почвах Российской Федерации // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2021. № 1. С. 7–11. doi: 10.32935/2221-7312-2021-47-1-7-1
16. Торрес Миньо К.Х. Оценка сортов амаранта с использованием биохимических и молекулярных методов для создания функциональных продуктов питания на основе листовой биомассы: дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2015. 192 с.
17. Lazanyi J., Chappan G., Kaposci J., Fazekas M. Biomass production on some cultivated and wild amaranth species // *Acta agron. Hungarica*. 1990. Vol. 39 (2). С. 11–19.
18. Гинс М.С., Торрес Миньо К.Х., Гинс Е.М. Изучение свойств красящего экстракта из соцветий и листьев амаранта и перспективы его использования // *Овощи России*. 2014. № 4 (25). С. 84–87. doi: 10.18619/2072-9146-2014-4-84-87
19. Griffiths C.J. Coloring Foods and Beverages // *Food Technology*. 2005. Vol. 59. № 5. P. 38–44.
20. Sleugh B.B., Moore K.J., Brummer E.C., Knapp A.D., Russell J., Gibson L. Forage Nutritive Value of Various Amaranth Species at Different Harvest Dates // *Crop Science Society of America*. 2001. Vol. 41. № 2. P. 466–472. doi: 10.2135/cropsci2001.412466x

Об авторах:

Платонова Светлана Юрьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: Svetlana.Platonova.00@mail.ru; ORCID: 0000-0003-3816-3692

Торрес Миньо Карлос Хавьер — кандидат сельскохозяйственных наук, директор по научным исследованиям, Технический университет Котопакси, Эквадор, 050101, Латакунга, сектор Сан Фелиппе, Авенида Симон Родригес; e-mail: carlosjavier12@yahoo.com

Гинс Екатерина Муратовна — младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Российская Федерация, Московская обл., Люберецкий р-н, пос. Красково, 140051, ул. Лорха, д. 23; аспирант, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: katya.888888@yandex.ru ORCID: 0000-0002-5685-6305

Гинс Мурат Сабирович — доктор биологических наук, профессор агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; заведующий лабораторией физиологии и биохимии растений, интродукции и функционального продукта, Федеральный научный центр овощеводства, Российская Федерация, 143080, Московская обл., Одинцовский район, поселок ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14; e-mail: anigr@bk.ru ORCID: 0000-0001-5995-2696; Scopus Author ID: 6603575024

Романова Елена Валерьевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агробиотехнологического департамента, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: evroma2008@yandex.ru ORCID: 0000-0002-8287-5462



Растениеводство Crop production

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-20-30

EDN OVCBUM

УДК 633: 631.86

Научная статья / Research article

Продуктивность сельскохозяйственных культур при использовании органоминеральных удобрений на основе отработанного грибного компоста

Т.В. Зубкова¹  , **Д.В. Виноградов^{2,3}** ¹Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, г. Елец, Российская Федерация²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация³Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева,
г. Рязань, Российская Федерация zubkovatanua@yandex.ru

Аннотация. С развитием в России отрасли грибоводства увеличивается количество отработанных грибных компостов, которые начинают активно использоваться как органоминеральные удобрения под сельскохозяйственные культуры. Рост спроса на данные удобрения снижает остроту проблемы хранения отработанных компостов. В исследованиях, проведенных на темно-серых лесных почвах Рязанской области, изучалось влияние на урожайность сельскохозяйственных культур отходов грибного производства как органических удобрений с высоким процентным содержанием питательных элементов, способных улучшать физические, биологические и биохимические свойства почвы. В приведенных опытах в отработанных компостах: свежевыгруженном и одного года хранения — выявлено содержание питательных элементов: зольности — 8,0 и 74,1 %; органического вещества — 66,3 и 25,9 %; NPK — 0,50, 0,63, 0,44 и 0,45, 0,51, 0,39 % соответственно, в сочетании с благоприятным кислотным режимом (рН 8,0–7,3). Максимальная продуктивность сельскохозяйственных культур отмечена на вариантах с действием полуперепревшего

© Зубкова Т.В., Виноградов Д.В., 2023

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

компоста: урожайность яровой пшеницы — 2,82 т/га (прибавка + 0,23 т/га к контролю); ярового ячменя — 3,21 т/га (+0,17); ярового рапса — 1,77 т/га (+0,24); картофеля сорта Вымпел — 27,91 (+ 4,41); картофеля сорта Колобок — 11,21 т/га (+1,63); гороха посевного — 2,10 т/га (+0,21). Подтверждена высокая эффективность применения грибных компостов в качестве удобрений для повышения урожайности яровых ячменя и пшеницы, ярового рапса, картофеля и гороха посевного.

Ключевые слова: пшеница яровая, ячмень яровой, рапс яровой, картофель, горох посевной, урожайность, масличность

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

История статьи: поступила в редакцию 15 января 2022 г., принята к публикации 27 февраля 2023 г.

Для цитирования: *Зубкова Т.В., Виноградов Д.В.* Продуктивность сельскохозяйственных культур при использовании органоминеральных удобрений на основе отработанного грибного компоста // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 20—30. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-20-30

Influence of spent mushroom compost on crop productivity

Tatyana V. Zubkova¹  , Dmitry V. Vinogradov^{2,3} 

¹Bunin Yelets State University, *Yelets, Russian Federation*

²Lomonosov Moscow State University, *Moscow, Russian Federation*

³Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev,
Ryazan, Russian Federation

*zubkovatanua@yandex.ru

Abstract. As development of mushroom industry in Russia is growing, and the amount of spent mushroom composts is increasing, they are actively used as organomineral fertilizers for agricultural crops. Therefore, from the rather large problem of storing waste composts, these fertilizers began to be in great demand in the agricultural industry. Organic fertilizers are characterized by a high percentage of nutrients. They are able to improve physical properties of soil by increasing aggregative stability and reducing soil density. Organic fertilizers improve biological and biochemical properties of soil, and positively affect the development of soil microbial community. In the experiments, the content of nutrients in fresh compost and compost after one year of storage averaged: ash content — 8.0 and 74.1 %; organic matter — 66.3 and 25.9 %; NPK (%) — 0.50, 0.63, 0.44 and 0.45, 0.51, 0.39, respectively, under a favorable soil acidity (pH 8.0–7.3). In studies carried out on dark grey forest soils of the Ryazan region, the maximum productivity of agricultural crops was noted in variants with application of half-ripened compost: the yield of spring wheat was 2.82 t/ha (+ 0.23 t/ha compared to the control); spring barley — 3.21 t/ha (+0.17); spring rapeseed — 1.77 t/ha (+0.24); potato cv. ‘Vympel’ — 27.91 (+ 4.41); potato cv. ‘Kolobok’ — 11.21 t/ha (+1.63); pea — 2.10 t/ha (+0.21). The high efficiency of spent mushroom composts as fertilizers for increasing yields of spring barley and wheat, spring rapeseed, potatoes and peas was confirmed.

Keywords: spring wheat, spring barley, spring rapeseed, potato, pea, productivity, oil content

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Article history: Received: 15 January 2022. Accepted: 27 February 2023.

For citation: Zubkova TV, Vinogradov DV. Influence of spent mushroom compost on crop productivity. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):20—30. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-20-30

Введение

В современном аграрном производстве органическим удобрениям отводится особая роль в поддержании и наращивании почвенного плодородия для увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур. В интенсивных агротехнологиях низкий уровень плодородия и применяемая система удобрений приводят к снижению уровня минерализации гумуса. Поддержание бездефицитного баланса гумуса в почвенном покрове с высоким его содержанием является важнейшей задачей сельскохозяйственного производства, и ее решение во многом связано с применением органических и органоминеральных удобрений [1–4].

Органические удобрения характеризуются высоким процентным содержанием питательных элементов и способны улучшать физические свойства почвы за счет повышения агрегативной устойчивости и уменьшения плотности почвенной массы [5–7]. Органические удобрения способствуют улучшению биологических и биохимических свойств почвы, а также положительно влияют на развитие почвенного микробного сообщества [8–10].

Последние годы в Российской Федерации бурное развитие переживает отрасль грибоводства. В числе лидеров Курская (13,8 тыс. т) область, Краснодарский край (12,2 тыс. т) и Московская область (7,8 тыс. т). Кроме того, грибоводство активно развивается в Ленинградской, Воронежской, Калужской и Ростовской областях, а также в Республике Татарстан.

Количество увеличивающегося отработанного грибного субстрата представляет большой интерес для использования в качестве органических удобрений в технологиях сельскохозяйственных культур. Высокому производству зерна, бобов, клубнеплодов и маслосемян способствует использование интенсивной системы удобрений в агротехнологиях [11–15].

Цель исследования — оценка эффективности использования отходов грибного производства: отработанного компоста и мицелия ксилотрофных грибов — в технологиях производства сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы исследования

Опытные участки располагались в Рязанской области на темно-серой лесной почве. Полевой опыт по испытанию компостов был заложен в 2020–2021 гг. на посевах сельскохозяйственных культур: ярового рапса, ярового ячменя, яровой пшеницы, гороха и картофеля (фактор А). Компост вносился один раз в севообороте, непосредственно под исследуемую культуру.

В опыте применяли две формы органического удобрения: полуперепревший и перепревший компост (фактор В). По фактору В схема опыта включала 3 ва-

рианта: контроль — без внесения компоста; компост полуперепревший; компост перепревший.

Доза внесения компостов определялась в соответствии с результатами расчетов потребности в удобрениях на формирование запланированной урожайности и анализа научных и производственных результатов по программированию урожаев сельскохозяйственных культур. В соответствии с этим средняя дозировка внесения компостов составила под яровые зерновые 50 т/га, яровой рапс — 40 т/га, картофель — 80 т/га.

Представленные компосты отличаются достаточно высоким содержанием основных элементов питания. Содержание в компостах: отработанном и 1 года хранения: зольность — 8,0 и 74,1 %; органическое вещество — 66,3 и 25,9 %; массовая доля влаги — 65,4 и 29,3 %; содержание на натуральную влажность общих элементов NPK — 0,50, 0,63, 0,44 и 0,45, 0,51, 0,39 % соответственно. Все компосты имеют благоприятную pH (8,0–7,3), поэтому физиологическое подкисление почвы исключено.

В опыте содержание в почве: гумус — 3,7 %, P_2O_5 — 10,5...14,6 мг/100 г почвы, K_2O — 14,1...15,6 мг/100 г почвы; $pH_{\text{сол}}$ — 5,4.

Объекты исследований — яровая пшеница сорт Ладыя, яровой ячмень сорт Владимир, яровой рапс сорт Риф, картофель — столовые среднеспелые сорта Вымпел, Колобок, горох посевной — Рокет.

Сельскохозяйственные культуры выращивались согласно общепринятым рекомендациям для условий Нечерноземной зоны. ГТК 2020 г. — 1,4; ГТК 2021 г. — 0,9.

Культуры выращивались в севообороте: чистый пар — озимая пшеница — картофель — яровой рапс — горох — яровые зерновые. Внесение компостов в опыте проводили под фрезерную обработку почвы агрегатом МТЗ-1221 + ФП-1,8 (картофель) или предпосевную культивацию МТЗ-1221 + КПЭ-3,8 (для всех остальных культур).

Общая площадь варианта — 80 м², учетная — 65 м². Повторность — четырехкратная. Основным методом исследований выбран полевой опыт, сопровождающийся многочисленными наблюдениями, учетами и лабораторными анализами. Математическая обработка выполнялась методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову¹.

Результаты исследований и обсуждение

Результаты проведенных опытов позволили установить положительный эффект от вносимых удобрений.

Следует отметить, что внесение удобрений способствовало увеличению площади листьев. Наибольшие различия достигались на варианте с применением полуперепревшего компоста. В опыте с яровой пшеницей в фазу цветения культуры, при внесении полуперепревшего компоста, площадь листовой поверхности составила 2,26 м²/м, что в 1,44 раза больше значений контрольного варианта (рис. 1).

¹ Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М., 1985. 220 с.

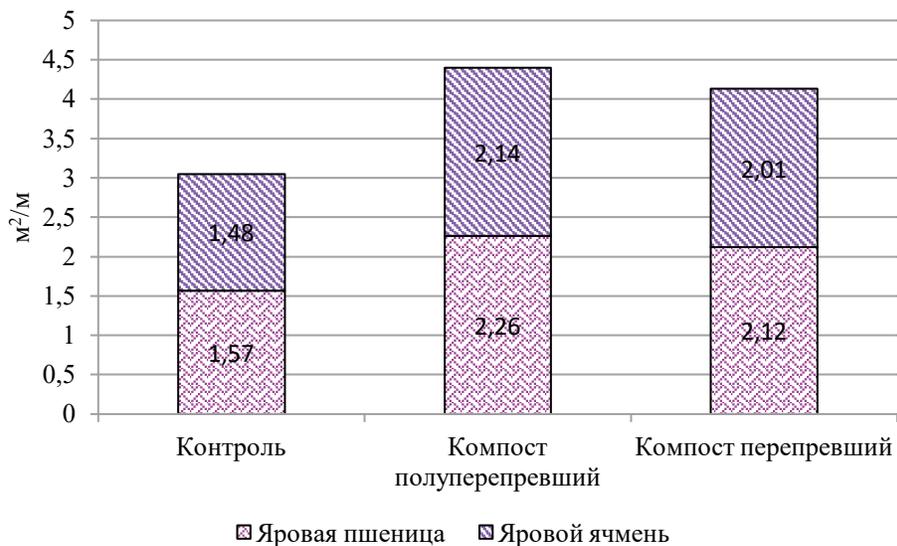


Рис. 1. Площадь листовой поверхности пшеницы и ячменя, м²/м

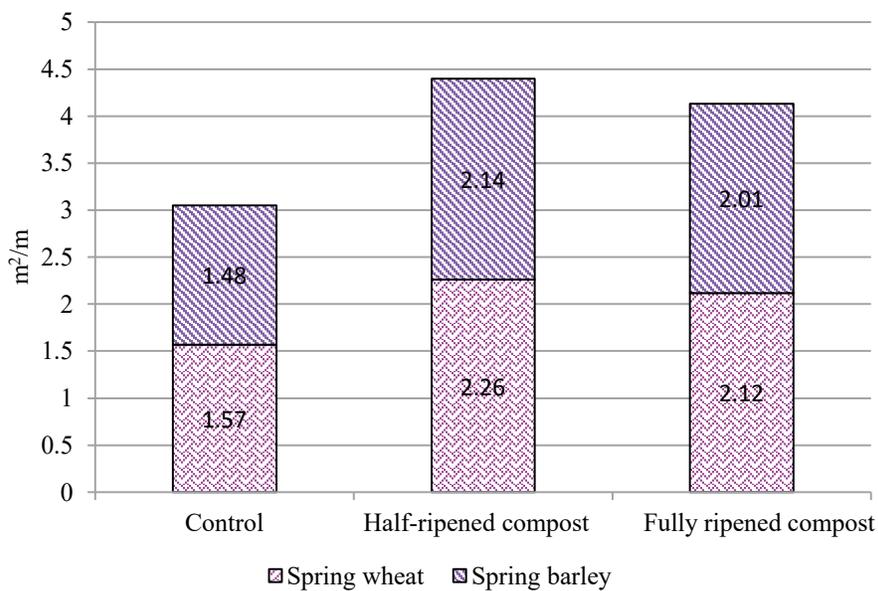


Fig. 1. Leaf surface area of wheat and barley, m²/m

В опыте с яровым ячменем получены сходные данные: площадь листовой поверхности растений с внесением полуперепревшего компоста составила 2,14 м²/м.

Внесение исследуемых удобрений сказалось и на увеличении вегетативной массы растений. Особенно это было заметно в опыте с яровым рапсом. Вегетативная масса одного растения на варианте с внесением компоста свежего в фазу цветения составляла 50,9 г, что в 2,11 раза было выше контроля. На варианте с перепревшим компостом данный показатель превышал контроль в 1,96 раза (рис. 2).

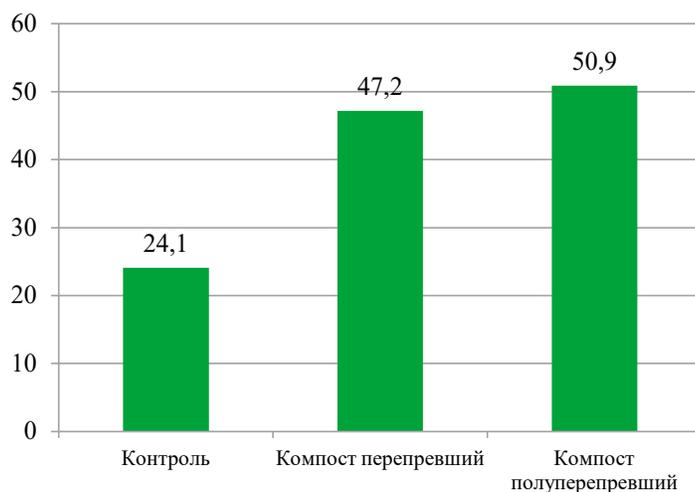


Рис. 2. Вегетативная масса одного растения рапса в фазу цветения, г

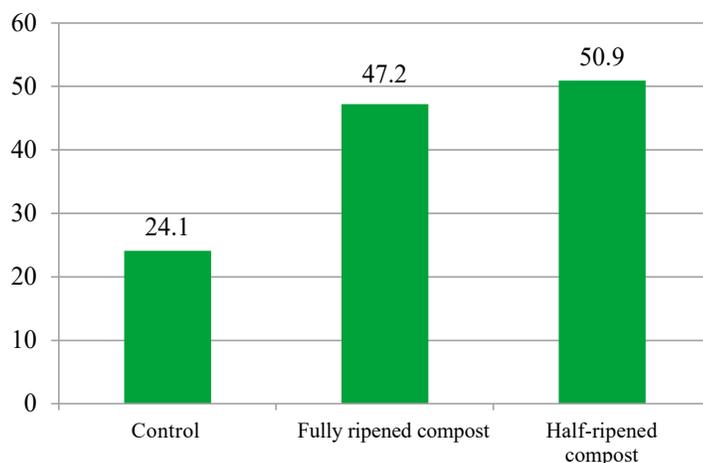


Fig. 2. Vegetative mass of rapeseed plant in the flowering stage, g

Установлено, что внесение всех компостов способствовало увеличению высоты растений ярового рапса. Высота растений в фазу цветения на контрольном

варианте составила 83,5 см. Внесение полуперепревшего компоста увеличивало данный показатель на 12,3 см по сравнению с контролем и на 9,7 см по сравнению с высотой растений на варианте с применением перепревшего компоста (рис. 3).

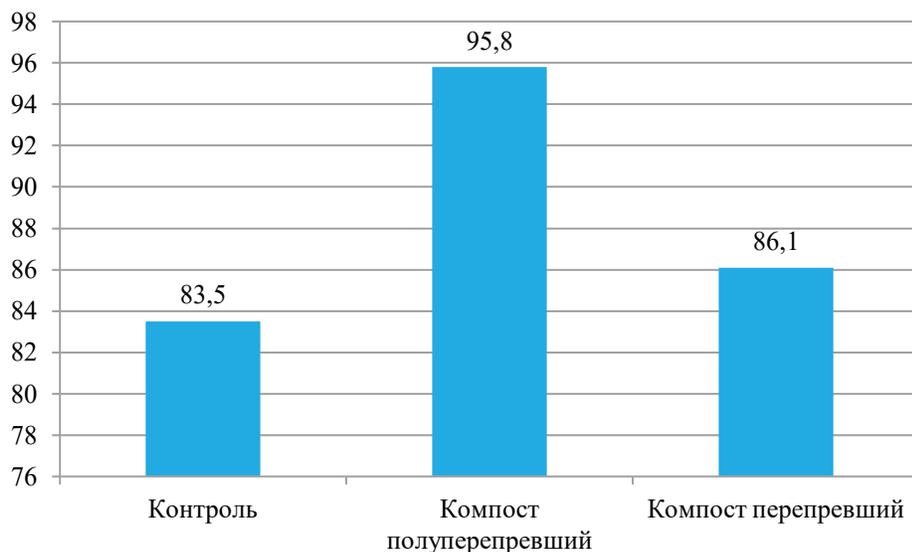


Рис. 3. Высота растений ярового рапса в фазу цветения, см

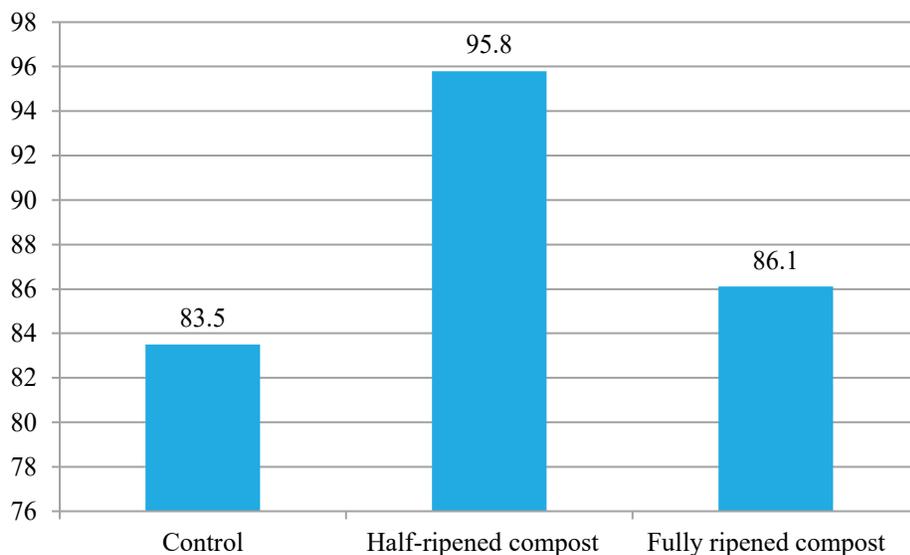


Fig. 3. Height of spring rape plants in the flowering stage, cm

В опыте по всем вариантам культур выявлено увеличение урожайности всех сельскохозяйственных культур от действия компоста (табл.).

**Урожайность сельскохозяйственных зерновых культур
в зависимости от уровня питания, среднее 2020–2021 гг.**

Уровень питания	Урожайность, т/га					
	Яровая пшеница	Яровой ячмень	Яровой рапс	Картофель сорт Вымпел	Картофель сорт Колобок	Горох посевной
Контроль	2,59	3,04	1,53	23,50	9,58	1,89
Компост полуперепревший	2,82	3,21	1,77	27,91	11,21	2,10
Компост перепревший	2,66	3,19	1,71	25,63	10,86	2,09

LSD₀₅ среднее, т/га, А – 0,91; В – 1,28; АВ – 2,22.

**Yield of agricultural grain crops depending on nutrition, t/ha
(average for 2020–2021)**

Nutrition	Yield, t/ha					
	Spring wheat	Spring barley	Spring rapeseed	Potato cv. Vympel	Potato cv. Kolobok	Pea
Control	2.59	3.04	1.53	23.50	9.58	1.89
Half-ripened compost	2.82	3.21	1.77	27.91	11.21	2.10
Fully ripened compost	2.66	3.19	1.71	25.63	10.86	2.09

LSD₀₅ average, t/ha: A – 0.91; B – 1.28; AB – 2.22.

Приведенные в таблице данные подтверждают, что и полуперепревший компост, и компост годовалый (перепревший) повлияли на все биометрические показатели исследуемых культур в сторону увеличения. При этом компост полуперепревший дал большее увеличение данных показателей.

Максимальная урожайность по всем культурам отмечена на вариантах с действием полуперепревшего компоста: яровой пшеницы — 2,82 т/га (прибавка + 0,23 т/га к контролю); ярового ячменя — 3,21 т/га (+0,17); ярового рапса — 1,77 т/га (+0,24); картофеля сорта Вымпел — 27,91 (+ 4,41); картофеля сорта Колобок — 11,21 т/га (+ 1,63); гороха посевного — 2,10 т/га (+ 0,21).

В процессе выполнения экспериментов после уборки ярового рапса был проведен анализ маслосемян в зависимости от уровня питания (рис. 4).

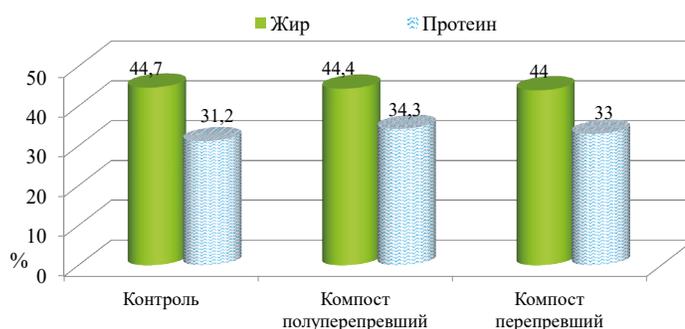


Рис. 4. Содержание жира и протеина в семенах ярового рапса, %

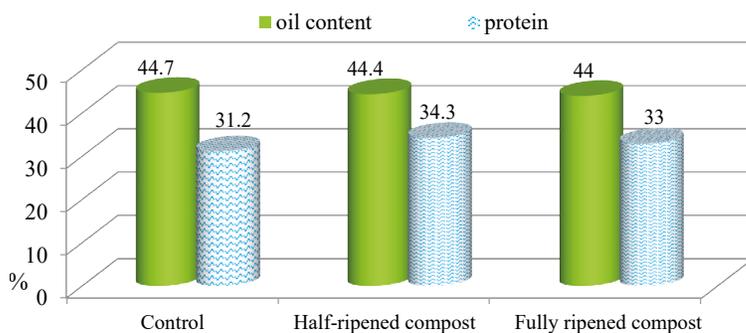


Fig. 4. Fat and protein content in seeds of spring rapeseed, %

Таким образом, при определении качества маслосемян, внесение различных компостов существенного изменения масличности у сорта Риф не показал, в среднем она составила 44,0...44,7 %. В то же время, зафиксировано увеличение содержания белка под действием компостов. Так, максимальное в опыте содержание протеина — на варианте с внесением перепревшего компоста (34,2 %), на +3,1 % от контроля.

Заключение

Данные, полученные в исследовании эффективности использования отходов грибного производства: отработанного компоста и мицелия ксилотрофных грибов — в качестве органических удобрений, подтверждают, что их применение на серых лесных почвах увеличивает урожайность яровых ячменя, пшеницы и рапса, картофеля и гороха посевного. Компост является дополнительным источником органического вещества в почве, обогащает ее азотом, фосфором, калием.

Итоги полевых испытаний компостов позволяют рекомендовать их для оптимизации условий питания исследуемых сельскохозяйственных культур. При этом для получения максимальных результатов продуктивности культур лучше всего использовать полуперепревший компост.

Библиографический список

1. Вафина Э.Ф., Мерзлякова А.О., Фатыхов И.Ш. Фотосинтетическая деятельность растений рапса Галант при применении микроэлементов // Инновационному развитию АПК — научное обеспечение: сб. науч. статей междунар. науч.-практ. конф., посв. 80-летию Пермской государственной сельскохозяйственной академии имени академика Д.Н. Прянишникова. Пермь, 2016. С. 26–30.
2. Zubkova T.V., Vinogradov D.V., Dubrovina O.A., Zakharov V.L. Влияние органоминеральных удобрений на накопление Cu и Zn в растениях ярового рапса // Вестник КрасГАУ. 2021. № 9 (174). С. 10–15. doi: 10.36718/1819-4036-2021-9-10-15
3. Карпачев В.В. Научное обеспечение производства семян рапса в России // Сельское хозяйство, 2009. Т. 2. С. 8–10.
4. Карпачев В.В. Научное обеспечение отрасли рапсосоения: итоги и задачи на 2006–2010 годы // Рапс — культура XXI века: аспекты использования на продовольственные, кормовые и энергетические цели: сб. науч. докл. на междунар. науч.-практ. конф. Липецк, 2005. С. 4–11.
5. Gulidova V.A., Shchuchka R.V. New preparations for winter wheat seeds Protection // WSEAS transactions on environment and development. 2021. V. 17. P. 630–635. doi: 10.37394/232015.2021.17.61
6. Shchuchka R.V., Gulidova V.A. Methods and results of spring barley plants treatment with growth biostimulants // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 677. P. 022103. doi: 10.1088/1755-1315/677/2/022103
7. Лунова Е.И. Роль пропашных предшественников в контроле засоренности и увеличении урожайности семян рапса и сурепицы // АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал. 2022. № 1. doi: 10.51419/202121106
8. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Целлюлозолитическая активность почв при различных уровнях агротехнического воздействия // Вестник КрасГАУ. 2015. № 7 (106). С. 45–49.
9. Gulidova V.A., Kravchenko V.A., Zakharov V.L. Optimization of the soil agrophysical properties for spring rape on leached black soil // Amazonia Investiga. 2020. Т. 9. № 29. P. 63–68. doi: 10.34069/AI/2020.29.05.8
10. Ушаков Р.Н., Головина Н.А. Физико-химический блок плодородия агросерой почвы // Агрохимический вестник. 2013. № 5. С. 12–13.
11. Zubkova T.V., Vinogradov D.V. Свойства органоминерального удобрения на основе куриного помета и применение его в технологии ярового рапса на семена // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 46–54. doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54
12. Motyleva S., Shchuchka R., Gulidova V., Mertvishcheva M. Structure and chemical characteristics of natural mineral deposit Terbunskaya (Lipetsk region, Russia) // AIP Conference Proceedings. 2015. Vol. 1669. doi: 10.1063/1.4919211
13. Макарова М.П. Влияние органоминеральных удобрений на основе ОСВ и цеолита на продуктивность агроценоза ярового рапса // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2013. № 3 (19). С. 109–112.
14. Гулидова В.А., Попов А.М. Масличность и биохимический состав семян рапса в зависимости от основной обработки почвы в сочетании с удобрениями // Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты: сб. науч. тр. Вып. 11. М.: РАЕН, 2004. Ч. 2. С. 46–51.
15. Гулидова В.А. Зависимость качества рапсового масла от основной обработки почвы // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 5. С. 64–65.

References

1. Vafina EF, Merzlyakova AO, Fatykhov IS. Photosynthetic activity of Galant rapeseed plants after application of mineral fertilizers. In: *Innovative development of agriculture— scientific support: conference proceedings*. Perm; 2010. p.26–30. (In Russ.).
2. Zubkova TV, Vinogradov DV, Dubrovina OA, Zakharov VL. Influence of organomineral fertilizers on the accumulation of Cu and Zn in spring rape plants. *Bulletin of KSAU*. 2021;(9):10–15. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2021-9-10-15
3. Karpachev VV. Scientific support for production of rapeseed in Russia. *Zemledelie*. 2009;(2):8–10. (In Russ.).
4. Karpachev VV. Scientific support of the rapeseed industry: results and tasks for 2006–2010. In: *Rapeseed as a crop of the XXI century: aspects of use for food, fodder and energy purposes: conference proceedings*. Lipetsk; 2005. p.4–11. (In Russ.).

5. Gulidova VA, Shchuchka RV. New preparations for winter wheat seeds protection. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 2021;17:630–635. doi: 10.37394/232015.2021.17.61
6. Shchuchka RV, Gulidova VA. Methods and results of spring barley plants treatment with growth biostimulants. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;677:022103. doi: 10.1088/1755-1315/677/2/022103
7. Lupova EI. The role of row crop predecessors in controlling weediness and increasing the productivity of rapeseed and rapeseed seeds. *AgroEcoInfo*. 2022;(1):4. (In Russ.). doi: 10.51419/202121106
8. Schur AV, Vinogradov DV, Valko VP. The soilcellulolytic activity in various levels of agrotechnical influence. *Bulletin of KSAU*. 2015;(7):45–49. (In Russ.).
9. Gulidova VA, Kravchenko VA, Zakharov VL. Optimization of the soil agrophysical properties for spring rape on leached black soil. *Amazonia Investiga*. 2020;9(29):63–68. doi: 10.34069/AI/2020.29.05.8
10. Ushakov RN, Golovina NA. Fiziko_himicheskii blok plodorodiya agroseroi pochvi. *Agrochem herald*. 2013;(5):12–13. (In Russ.).
11. Zubkova TV, Vinogradov DV. Properties of organomineral fertilizer based on chicken manure and its application in the technology of spring rape cultivation for seeds. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2021;(1):46–54. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2021-1-46-54
12. Motyleva S, Shchuchka R, Gulidova V, Mertvishcheva M. Structure and chemical characteristics of natural mineral deposit Terbunskaya (Lipetsk region, Russia). *AIP Conference Proceedings*. 2015;1669:020073. doi: 10.1063/1.4919211
13. Makarova MP. Influence of the basis organomineral fertilizers sewage sludge and zeolites on productivity spring rape. *Herald of Ryazan state agrotechnological university named after P.A. Kostychev*. 2013;(3):109–112. (In Russ.).
14. Gulidova VA, Popov VM. Oil content and biochemical composition of rape seeds depending on the main tillage in combination with fertilizers. In: *Netraditsionnye prirodnye resursy, innovatsionnye tekhnologii i produkty. Vyp.11. Ch. 2* [Non-traditional natural resources, innovative technologies and products. Vol. 11. Part 2]. Moscow: RAEN publ.; 2004. p.46–51. (In Russ.).
15. Gulidova VA. Dependency of rape oil quality on basic tillage of soil. *Vestnik of the Russian agricultural science*. 2005;(5):64–65. (In Russ.).

Об авторах:

Зубкова Татьяна Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая кафедрой агротехнологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Российская Федерация, 399770, г. Елец, ул. Коммунаров, д. 28; e-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3525-488X

Виноградов Дмитрий Валериевич — доктор биологических наук, профессор, советник при ректорате, заведующий кафедрой агрономии и агротехнологий, Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, Российская Федерация, 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д. 1; старший научный сотрудник кафедры общего земледелия и агроэкологии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: vdv-rz@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-2017-1491

About authors:

Zubkova Tatyana Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Agrotechnologies for Storage and Processing of Agricultural Products, Yelets State University, 28 Kommunarov st., Yelets, 399770, Russian Federation; e-mail: ZubkovaTanua@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3525-488X

Vinogradov Dmitry Valerievich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Advisor to the Rectorate, Head of the Department of Agronomy and Agrotechnologies, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 1 Kostycheva st., Ryazan, 390044, Russian Federation; Senior Researcher, Department of General Agriculture and Agroecology, Lomonosov Moscow State University, 1/12 Leninskiye gory, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: vdv-rz@rambler.ru

ORCID: 0000-0003-2017-1491



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-31-44

EDN OVNSSET

УДК 631.524.84: 633.17 (470.56)

Научная статья / Research article

Влияние минеральных удобрений, предшественников и почвенно-климатических условий на продуктивность проса в степной зоне Южного Урала

Д.В. Митрофанов 

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук, г. Оренбург, Российская Федерация
✉ dvm.80@mail.ru

Аннотация. Исследования проведены на черноземах южных в засушливых условиях Оренбургского Предуралья с 2002 по 2021 гг. Приведены результаты изучения влияния агрометеорологических условий вегетационного периода, весенних запасов почвенной влаги и питательных веществ, целлюлолитической активности микроорганизмов, содержания органического вещества, гумуса и кислотности в почве после внесения минеральных удобрений на повышение продуктивности сельскохозяйственного растения просо (*Panicum miliaceum* L.) сорта Оренбургское 9. В качестве объекта исследований выбраны почва и посевы проса. Применены полевой, термостатно-весовой, ионометрический, Мачигина, аппликационно-весовой, Тюрина, дисперсионный и статистический методы исследования. Полевые опыты заложены в четырехпольном, двупольном севооборотах и бесменно по следующей схеме: 1) посев после твердой пшеницы в последствии черного пара (контроль); 2) посев после мягкой пшеницы в последствии черного пара; 3) посев после мягкой пшеницы в последствии почвозащитного пара; 4) посев после мягкой пшеницы в последствии сидерального пара; 5) посев после твердой пшеницы; 6) бесменный посев проса. Выявлена способность изучаемых факторов повышать продуктивность проса в двупольном севообороте с твердой пшеницей после применения минеральных удобрений. Максимальная прибавка по сравнению с контролем при использовании комплексного удобрения аммофоса с дозой 40 кг/га азота и фосфора ($N_{40}P_{40}$) действующего вещества получена по выходу зерна на 0,45 т; кормовых единиц — 0,44; энергетических — 0,26 и кормопротеиновых — 0,24 т/га. Наилучшее влияние на увеличение продуктивности оказывают июльские осадки — 28,05 %; весенние запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см — 25,96 %, в 0–100 см — 20,86 %; содержание нитратов — 71,80 %, фосфора — 38,05 %, калия — 33,07 %; активность микроорганизмов (разложение целлюлозы) — 62,32 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. Наибольшее содержание органического вещества — 17,6 и 3,5 % гумуса в почве и нейтральная кислотность ($pH = 7,0$) создают благоприятные условия для выращивания проса после твердой пшеницы. В результате исследования по другим посевам установлено, что

© Митрофанов Д.В., 2023



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

рассматриваемые факторы не воздействуют на рост урожайности. Положительные результаты влияния изученных факторов могут быть использованы для повышения продуктивности проса.

Ключевые слова: *Panicum miliaceum* L., севооборот, осадки, продуктивная влага, питательные вещества, микроорганизмы, органическое вещество, гумус, кислотность почвы

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

Финансирование. Благодарности. Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2022–2024 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526–2022–0014).

История статьи: поступила в редакцию 23 мая 2022 г.; принята к публикации 20 февраля 2023 г.

Для цитирования: Митрофанов Д.В. Влияние минеральных удобрений, предшественников и почвенно-климатических условий на продуктивность проса в степной зоне Южного Урала // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 31–44. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-31-44

Effect of mineral fertilizers, forecrops and soil-climatic conditions on millet productivity in steppe zone of the Southern Urals

Dmitry V. Mitrofanov 

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation
✉ dvm.80@mail.ru

Abstract. The research was carried out on southern chernozems in arid conditions of the Orenburg Urals in 2002–2021. The influence of agrometeorological conditions of the growing season, spring reserves of soil moisture and nutrients, cellulolytic activity of microorganisms, content of organic matter, humus and acidity in the soil after applying mineral fertilizers on increasing productivity of millet (*Panicum miliaceum* L.) cv. ‘Orenburg 9’ were studied. The soil and millet crops were selected as the object of research. The work uses field, thermastatic-weight, ionometric, Machigin, application-weight, Tyurin, dispersion and statistical methods of research. Field experiments were performed in four-field, two-field crop rotations and continuous cropping according to the following scheme: 1) Sowing after durum wheat in the aftereffect of black fallow (control); 2) Sowing after common wheat in the aftereffect of black fallow; 3) Sowing after common wheat in the aftereffect of soil-protective fallow; 4) Sowing after common wheat in the aftereffect of sideral fallow; 5) Sowing after durum wheat; 6) Millet continuous cropping. It was revealed that the studied factors in the experiment increased millet productivity under two-field crop rotation with durum wheat after fertilizers application. Compared to the control, the maximum increase of grain yield was after using ammophos complex fertilizer (N₄₀P₄₀) — by 0.45 tons; feed units — 0.44; energy units — 0.26 and feed protein units — 0.24 t/ha. The best effect on increasing productivity was provided by: July precipitation — 28.05 %, spring reserves of productive moisture in 0–30 cm soil layer — 25.96 %; in 0–100 cm — 20.86 %, nitrate content — 71.80 %, phosphorus — 38.05 %, potassium — 33.07 %, microbial activity (cellulose decomposition) — 62.32 % (p < 0.05) compared to the control. The highest organic matter content (17.6 %) and humus (3.5 %) in soil and neutral acidity (pH = 7.0) create favorable conditions for growing millet after durum wheat. As a result of research on other crops, it was found that these factors do not affect yield increase. Positive results of the influence of factors can be useful in increasing millet productivity.

Key words: *Panicum miliaceum* L., crop rotation, precipitation, productive moisture, nutrients, microorganisms, organic matter, humus, soil acidity

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

Acknowledgments. The study was carried out in accordance with the research plan for 2022–2024 of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (No. 0526–2022–0014).

Article history: Received: 23 May 2022. Accepted: 20 February 2023.

For citation: Mitrofanov DV. Effect of mineral fertilizers, forecrops and soil-climatic conditions on millet productivity in steppe zone of the Southern Urals. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):31–44. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-31-44

Введение

Ограничительные политические и экономические меры, предпринятые западными странами в отношении Российской Федерации, привели к повышению рыночных цен на продовольственные товары. В связи со сложившейся ситуацией в России перед земледелием стоит задача расширить посевные площади проса.

Применение азотных и фосфорных удобрений приводит к накоплению нитратов, подвижного фосфора в начале вегетации проса и получению высоких прибавок урожая зерна [1–3]. В засушливых условиях после применения минеральных удобрений снижается урожайность проса. В среднем урожай без применения удобрений составляет 0,94 т и на удобренном агрофоне — только 0,82 т/га. Внесение минеральных удобрений менее эффективно в севообороте с просом [4–6]. Увеличение урожайности проса на неудобренном агрофоне зависит от осадков в июле [7]. Количество выпавших осадков в фазе всходов-кущения и выметывания метелки не всегда значительно влияют на повышение урожайности проса [8]. В период налива и созревания зерна выпадает 143,0 мм осадков при температуре воздуха 22,2 °С, что ведет к формированию средней урожайности проса [9, 10]. При повышении температуры воздуха в июле и августе наблюдается снижение урожайности проса с 0,95 до 0,70 т/га. Продуктивность в основном зависит от климатических факторов июля [11, 12]. Во всех севооборотах урожайность проса превышает данный показатель у мягкой и твердой пшеницы в два и более раз в различных складывающихся агрометеорологических условиях. В результате наблюдений установлено, что просо показывает высокую устойчивость и стабильность продуктивности в засушливых условиях вегетационного периода [13]. Запасы продуктивной влаги 95 мм и более с количеством выпавших осадков за вегетационный период до 197 мм приводят к максимальной урожайности проса в пределах от 2,60 до 3,20 т/га [14]. В метровом слое почвы запасы продуктивной влаги с учетом выпавших осадков, содержащие менее 70 мм, способствуют снижению продуктивности проса после внесения минеральных удобрений [15]. Целлюлозолитическая активность почвы под посевами проса в основном зависит от агрометеорологических условий в течение вегетации, при недостатках влаги она резко падает. В бессменном посеве проса активность микроорганизмов в почве ниже, чем в севооборотах. Внесение минеральных удобрений повышает биологическую активность почвы [16].

Для решения проблемы увеличения продуктивности проса проводили исследование в степной зоне Южного Урала.

Цель исследования — определить влияние погодных условий вегетационного периода, весенних запасов почвенной влаги и питательных веществ, целлюлозо-литической активности микроорганизмов, содержания органического вещества, гумуса и кислотности в почве на повышение продуктивности проса после внесения минеральных удобрений.

Материалы и методы исследования

Объект исследования — почва (чернозем южный) и посевы проса (*Panicum miliaceum* L.) сорта Оренбургское 9. Почва многолетнего экспериментального участка является черноземом южным карбонатным среднесиловым малогумусным на желто-бурых тяжелых суглинках. В начале закладки, в 1988 г., стационарного поля площадью 24 га в слое почвы 0–30 см содержание гумуса составляет 3,2...4,0 %, общего азота — 0,20...0,31 % и фосфора — 0,14...0,22 %, нитратов — 8,7...18,1 мг, подвижного фосфора — 1,5...2,5 мг и обменного калия — 30,0...38,0 мг/100 г, рН почвенного раствора — 7,0...8,1. Стационарный опытный участок расположен возле п. Крона центральной зоны Оренбургской области по координатам (51°46'31"N, 55°18'34"E).

Исследования проведены с 2002 по 2021 гг. на базе бывшего ОПХ им. Куйбышева Оренбургского района. Наблюдения выполнены на длительном экспериментальном поле по изучению севооборотов и бессменных посевов. Методика полевого опыта применена по рекомендациям Б.А. Доспехова. Посевы проса изучены по предшественникам в четырехпольных (пар черный — озимая пшеница — твердая пшеница — просо; пар черный — твердая пшеница — мягкая пшеница — просо; пар почвозащитный (суданская трава) — твердая пшеница — мягкая пшеница — просо; пар сидеральный (овес с горохом) — твердая пшеница — мягкая пшеница — просо) и двупольном (просо — твердая пшеница) севооборотах и при бессменном его возделывании. Полевые опыты заложены в четырехкратной повторности по следующей схеме: 1) посев после твердой пшеницы в последствии черного пара (контроль); 2) посев после мягкой пшеницы в последствии черного пара; 3) посев после мягкой пшеницы в последствии почвозащитного пара; 4) посев после мягкой пшеницы в последствии сидерального пара; 5) посев после твердой пшеницы; 6) бессменный посев проса.

Эксперименты проведены на удобренном агрофоне выращивания проса. Посевы проса занимают площадь стационара около 0,34 га. Прямоугольные делянки размером 3,6 × 30 м в четырехпольных севооборотах и 7,2 × 30 м в двупольном и бессменном посеве. Перед осенней вспашкой внесен сеялкой аммофос в дозе 40 кг/га азота и фосфора ($N_{40}P_{40}$) действующего вещества. Во второй или третьей декаде мая высеяно сеялкой СЗП-3,6 просо с нормой 3 млн шт. всхожих семян на 1 га. Учетная площадь делянки проса — 180 м². Во второй половине августа проведена уборка проса специализированным комбайном Terrion-Sampo 2010 с измельчением и разбросом соломы на поверхность почвы. Выход зерна проса

определен с учетом 13,5 % влажности и 100 % чистоты. Содержание кормовых и кормопротеиновых единиц проса установлено по составу и питательности кормов (в 1 кг) А.П. Калашникова. Энергетические кормовые единицы рассчитаны по оценке питательности кормов сельскохозяйственных животных. Агротехника и агротехнология возделывания проса в севооборотах и бесценно рекомендованы для данной степной зоны Южного Урала.

В научно-исследовательской работе применены термостатно-весовой (С.А. Воробьев), ионометрический (нитраты), Мачигина (подвижный фосфор и калий), аппликационно-весовой (Е.Н. Мишустин и А.Н. Петрова), Тюрина (органическое вещество и гумус), дисперсионный и статистический методы исследования. Климат опытного участка резко-континентальный, в основном засушливый. Наблюдения за агрометеорологическими условиями вегетационного периода по Оренбургскому району проведены по данным Гидрометцентра. Осадки на стационаре определены с помощью полевого осадкомера, который расположен на контрольной деланке опыта. Гидротермический коэффициент увлажнения за период вегетации проса рассчитан по Г.Т. Селянину. Дисперсионный анализ и статистическая обработка полученных данных проведены с помощью множественной регрессии в программе Statistica 10.0 (Stat Soft Inc., США). Наблюдения, учеты, расчеты, анализы, контроль и оценка выполнены по общим принятым методикам и рекомендациям.

Результаты исследований и обсуждение

Проведенные в 2002—2021 гг. наблюдения за погодными факторами на опытном поле показали значительные изменения агрометеорологических условий в периоде вегетации проса. За июль и июнь отмечено наибольшее количество выпавших осадков по району — 42,2 мм при норме 41 мм и на поле — 33,3 мм (табл. 1).

Таблица 1

Агрометеорологические условия в период выращивания проса (2002–2021 гг.) в зависимости от времени года

Погодные факторы	Месяцы вегетационного периода проса				За месяцы
	Май	Июнь	Июль	Август	
Осадки по району, мм	$\frac{31,0^*}{41,0}$	$\frac{29,6}{39,0}$	$\frac{42,2}{41,0}$	$\frac{22,8}{34,0}$	$\frac{125,6}{155,0}$
Среднесуточная температура, °С	$\frac{16,4}{15,0}$	$\frac{20,8}{19,7}$	$\frac{22,8}{21,9}$	$\frac{21,9}{20,0}$	$\frac{20,5}{19,1}$
Суховейные дни	$\frac{16,0}{14,0}$	$\frac{15,0}{13,0}$	$\frac{15,0}{14,0}$	$\frac{18,0}{15,0}$	$\frac{64,0}{56,0}$
Осадки на поле, мм	29,9	33,3	30,2	22,9	116,3

Примечание: *Над чертой — среднее по данным Оренбургского гидрометцентра, под чертой — среднее многолетнее значение; ГТК по Г.Т. Селянину за месяцы составляет 0,54, среднее многолетнее — 0,50.

Agrometeorological conditions during millet cultivation depending on the season (2002–2021)

Weather factors	Months of the millet growing season				Total
	May	June	July	August	
Precipitation by area, mm	31.0*	29.6	42.2	22.8	125.6
	41.0	39.0	41.0	34.0	155.0
Average daily temperature, °C	16.4	20.8	22.8	21.9	20.5
	15.0	19.7	21.9	20.0	19.1
Dry days	16.0	15.0	15.0	18.0	64.0
	14.0	13.0	14.0	15.0	56.0
Precipitation on the field, mm	29.9	33.3	30.2	22.9	116.3

Note: *Above the line is the average data according to the Orenburg Hydrometeorological Center, below the line is the average annual data; Selyaninov hydrothermal moisture coefficient (HTC) for months is 0.54 and for years is 0.50.

По данным Оренбургского гидрометцентра за май, июнь, август выпадает осадков меньше среднемноголетней нормы: 31,0; 29,6 и 22,8 мм соответственно. Количество выпавших осадков по данным полевого осадкомера за май, июль, август составляет соответственно 29,9; 30,2 и 22,9 мм. Высокая среднесуточная температура воздуха наблюдается в июле 22,8 °С, что выше среднемноголетнего показателя лишь на 0,9 °С. Воздушная температура мая превышает норму на 1,4 °С, июня — на 1,1 °С и августа — на 1,9 °С. Максимальное число суховейных дней — 18 — отмечается в августе, что больше среднемноголетней нормы на 3. Количество суховейных дней в мае, июне, июле выше нормы. За период вегетации количество выпавших осадков составляет 125,6 мм или 81,0 % от среднемноголетней нормы 155,0 мм. За вегетационный период на поле выпадают осадки 116,3 мм и среднесуточная температура воздуха составляет 20,5 °С, что выше среднемноголетнего значения на 1,4 °С. За месяцы вегетации количество суховейных дней составляет 64, что выше нормы 56 на 8. В среднем гидротермический коэффициент увлажнения по Г.Т. Селянину равен 0,54, что указывает на средне засушливый вегетационный период проса.

Максимальное количество весенней продуктивной влаги с учетом осадков отмечается под посевом после мягкой пшеницы в последствии почвозащитного (III вариант опыта) и черного пара (контроль) четырехпольных севооборотов. Содержится запасов в слое почвы 0–30 см — 43,8 мм и в 0–100 см — 140,3 мм (табл. 2).

Таблица 2

Весенние запасы продуктивной влаги и питательных веществ в почве под посевом проса в зависимости от исследуемых вариантов опыта (2002–2021 гг.)

Вариант опыта	Продуктивная влага, мм		Питательные вещества (0–30 см), мг/100 г почвы		
	0–30 см	0–100 см	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	42,2	140,3	8,3	6,3	47,3
II	42,0	136,0	8,0	6,2	46,7
III	43,8	134,7	5,6	5,1	41,9
IV	42,7	131,2	6,0	6,0	45,2
V	32,7	112,6	3,9	2,4	16,8
VI	39,1	126,6	8,6	5,8	44,4
НСР ₀₅	7,4	17,8	3,4	2,7	21,2

Spring reserves of productive moisture and nutrients in the soil under millet crops depending on the variants (2002–2021)

Variant	Productive moisture, mm		Nutrients (0–30 cm), mg/100 g soil		
	0–30 cm	0–100 cm	NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O
I	42.2	140.3	8.3	6.3	47.3
II	42.0	136.0	8.0	6.2	46.7
III	43.8	134.7	5.6	5.1	41.9
IV	42.7	131.2	6.0	6.0	45.2
V	32.7	112.6	3.9	2.4	16.8
VI	39.1	126.6	8.6	5.8	44.4
LSD ₀₅	7.4	17.8	3.4	2.7	21.2

Минимальное количество почвенной влаги наблюдается под посевом после твердой пшеницы двупольного севооборота (V вариант опыта) и в 0–30 см составляет 32,7 мм; в 0–100 см — 112,6 мм. По другим изучаемым вариантам эксперимента продуктивная влага под посевом проса отмечалась в пределах от 39,1 до 136,0 мм. В пятом варианте опыта в слое почвы 0–100 см фактическое различие содержания продуктивной влаги 27,7 мм больше наименьшей существенной разности ($HC\text{P}_{05} = 17,8$ мм), что является значимым.

Наибольшие весенние запасы нитратов (NO₃⁻) в слое почвы 0–30 см наблюдаются под бессменным посевом (VI вариант опыта) и на удобренном агрофоне составляет 8,6 мг, что выше контроля на 0,3 мг/100 г. Наименьшее содержание нитратов отмечается под посевом после твердой пшеницы в двупольном севообороте и составляет 3,9 мг, что ниже контроля на 4,4 мг/100 г почвы. Количество нитратов под посевом проса в последствии паров после внесения минеральных удобрений составляет от 5,6 до 8,3 мг/100 г почвы. Наибольшее количество подвижного фосфора (P₂O₅) в почве на удобренном агрофоне наблюдается в контроле — 6,3 мг, во втором — 6,2 мг и четвертом — 6,0 мг вариантах эксперимента. Наименьшее содержание оксида фосфора отмечается в пятом варианте опыта и составляет 2,4 мг, что ниже контроля на 3,9 мг/100 г почвы. В третьем и шестом вариантах эксперимента содержание подвижного фосфора в почве составляет 5,1 и 5,8 мг/100 г соответственно. Максимальное содержание подвижного калия K₂O в почве наблюдается в последствии черного пара (контроль) и составляет 47,3 мг/100 г. Минимальное количество оксида калия отмечается после твердой пшеницы в двупольном севообороте (V вариант опыта) и составляет 16,8 мг с отрицательным отклонением от контроля в 30,5 мг/100 г почвы. В результате последствий паров и бессменного посева проса определяется содержание подвижного калия в почве после внесения минеральных удобрений от 41,9 до 46,7 мг/100 г. Наилучшая значимая фактическая разность наблюдается в V варианте опыта по оксиду калия и составляет 30,5 мг ($HC\text{P}_{05} = 21,2$). Такое наблюдение объясняется высоким содержанием подвижного калия (характеристика почвы) в черноземах южных Предуралья.

Наибольшая активность микрофлоры почвы и максимальное содержание органического вещества и гумуса в почве наблюдались в V варианте опыта и составили 13,7; 17,6 и 3,5 % (табл. 3). Кислотность почвы под посевом проса в двупольном севообороте с твердой пшеницей находилась в нейтральном положении и составила 7,0. По остальным вариантам опыта показатели плодородия почвы были на уровне: биологическая активность почвы — 9,9...12,7 %; содержание органического вещества — 11,5...16,4 %, гумуса — 1,0...3,0 %, почвенного раствора — 7,5...8,0 рН. Значимая наименьшая существенная разность отмечена в VI варианте опыта по гумусу — 1,5 мм. Снижение содержания гумуса в бессменном посеве обосновывается истощением почвы и затормаживанием активности микрофлоры корневыми выделениями проса.

Таблица 3

Показатели плодородия почвы под посевом проса в слое чернозема 0–30 см в зависимости от вариантов опыта (2002–2021 гг.)

Показатели плодородия почвы	Вариант опыта						НСР ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Биологическая активность ¹	11,5	12,7	11,2	11,0	13,7	9,9	2,4
Органическое вещество ²	15,5	16,4	14,1	13,2	17,6	11,5	4,0
Гумус ³	2,8	3,0	2,7	2,5	3,5	1,0	1,5
Кислотность ⁴	7,6	7,5	7,7	7,8	7,0	8,0	0,6

Примечание. ¹Целлюлозолитическая активность микроорганизмов в почве, %; ²органическое вещество состоит из пожнивных, корневых остатков и соломы, %; ³содержание гумуса на южном черноземе, %; ⁴кислотность почвы выражается рН почвенным раствором.

Table 3

Soil fertility under millet cropping in 0–30 cm layer of chernozem (2002–2021)

Indicators of soil fertility	Variant						LSD ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Biological activity ¹	11.5	12.7	11.2	11.0	13.7	9.9	2.4
Organic matter ²	15.5	16.4	14.1	13.2	17.6	11.5	4.0
Humus ³	2.8	3.0	2.7	2.5	3.5	1.0	1.5
Acidity ⁴	7.6	7.5	7.7	7.8	7.0	8.0	0.6

Note: ¹Cellulolytic activity of microorganisms in the soil, %; ²Organic matter consists of crop, root residues and straw, %; ³Humus content in southern chernozem, %; ⁴Soil acidity is expressed by pH soil solution.

Выявлено, что наибольший выход зерна проса наблюдался в V варианте опыта (посев после твердой пшеницы) и составил 1,21 т, что выше контроля на 0,45 т/га (табл. 4). Наименьшая урожайность зерна проса отмечена в VI варианте эксперимента (бессменный посев) — 0,52 т, что ниже контроля на 0,24 т/га. По первым четырем вариантам опыта выход зерна составил 0,66...0,80 т/га.

Максимальный выход продуктивности с 1 га пашни отмечен в V варианте эксперимента — 1,18 т кормовых, 0,70 т энергетических и 0,65 т/га кормопротеиновых единиц. Минимальный выход продуктивности просматривался в VI варианте опыта — 0,28; 0,30 и 0,51 т/га соответственно. По остальным вариантам посева проса выход кормовых единиц составил 0,65...0,78 т; энергетических — 0,38...0,46 т

и кормопротеиновых — 0,36...0,43 т/га. Наилучшая наименьшая существенная разность определялась по выходу зерна — 0,43 т. Фактическая разность 0,45 т по сравнению с контролем зафиксирована в V варианте опыта и является значимой.

Таблица 4

Влияние различных вариантов опыта на продуктивность проса в севообороте и бесменном посеве, т/га (2002–2021 гг.)

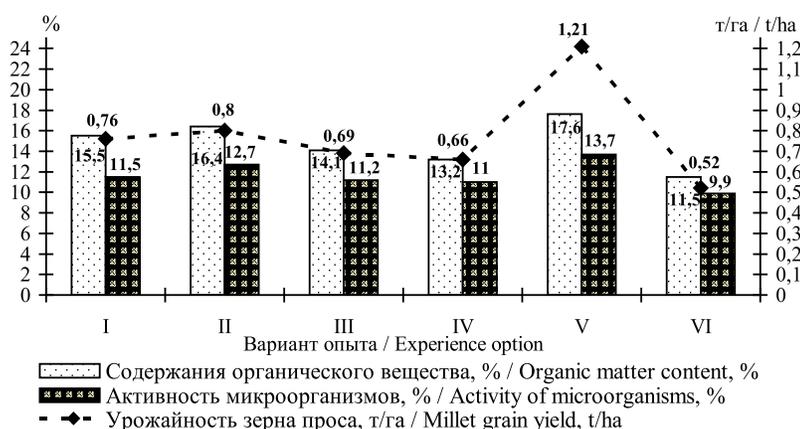
Единицы	Выход с 1 га в вариантах опыта, т						НСР ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Зерно	0,76	0,80	0,69	0,66	1,21	0,52	0,43
Кормовые	0,74	0,78	0,68	0,65	1,18	0,51	0,41
Энергетические	0,44	0,46	0,40	0,38	0,70	0,30	0,25
Кормопротеиновые	0,41	0,43	0,37	0,36	0,65	0,28	0,23

Table 4

Productivity of millet in crop rotation and continuous cropping, t/ha (2002–2021)

Parameter	Output from 1 ha in Variants, t						LSD ₀₅
	I	II	III	IV	V	VI	
Grains	0.76	0.80	0.69	0.66	1.21	0.52	0.43
Feed units	0.74	0.78	0.68	0.65	1.18	0.51	0.41
Energy units	0.44	0.46	0.40	0.38	0.70	0.30	0.25
Forage protein units	0.41	0.43	0.37	0.36	0.65	0.28	0.23

Влияние показателей плодородия почвы на урожайность зерна проса по вариантам опыта после внесения аммофоса показано на рисунке.



Воздействие содержания органического вещества и активности микроорганизмов в почве на урожайность зерна проса в севообороте и бесменном посеве после внесения аммофоса (2002–2021 гг.)

Effect of organic matter content and microbial activity in soil on yield of millet grain in crop rotation and permanent sowing after application of ammophos (2002–2021)

График показывает прямо пропорциональную зависимость: чем выше /ниже содержание органического вещества в почве и целлюлозолитической активности микроорганизмов, тем соответственно больше/меньше урожайность зерна проса по вариантам опыта или наоборот. Наилучшее влияние эти факторы оказывают на повышение продуктивности в V варианте посева.

В результате статистической обработки данных выявлено, что наибольшее влияние на повышение продуктивности проса из погодных факторов оказали июльские осадки в V варианте опыта, составив по выходу зерна, кормовых, энергетических и кормопротеиновых единиц соответственно: 27,91; 27,93; 27,96; 28,05 % с критерием уровня значимости 0,01 (табл. 5).

Таблица 5

Влияние основных факторов на повышение продуктивности проса в двухпольном севообороте с твердой пшеницей (2002–2021 гг.)

Основные факторы		Продуктивность проса			
		Зерна	Кормовых единиц	Энергетических единиц	Кормопро-теиновых единиц
Осадки дождемера	в июле	27,91/0,27*	27,93/0,27	27,96/0,27	28,05/0,28
		0,01**	0,01	0,01	0,01
Продуктивная влага в весенний период	в 0–30 см	25,96/0,25	25,91/0,25	25,79/0,25	25,80/0,25
		0,02	0,02	0,02	0,02
	в 0–100 см	20,86/0,20	20,83/0,20	20,71/0,20	20,73/0,20
		0,04	0,04	0,04	0,04
Питательные вещества после посева	Нитраты	71,80/0,71	71,78/0,71	71,55/0,71	71,75/0,71
		0,00	0,00	0,00	0,00
	Фосфор	38,05/0,38	37,95/0,37	37,84/0,37	37,78/0,37
		0,00	0,00	0,00	0,00
	Калий	33,07/0,33	33,01/0,33	32,79/0,32	32,93/0,32
		0,00	0,00	0,00	0,00
Биологический	в 0–20 см	62,13/0,62	62,03/0,62	61,93/0,61	62,32/0,62
		0,00	0,00	0,00	0,00

Примечание: * Перед чертой – доля влияния фактора, %, после черты – коэффициент детерминации; ** Критерий уровня значимости множественной регрессии ($p < 0,05$).

Table 5

Influence of the main factors on increasing millet productivity under two-field crop rotation with durum wheat (2002–2021)

Factors		Millet productivity			
		Grain	Feed units	Energy units	Forage protein units
Rain gauge precipitation	in July	27.91/0.27*	27.93/0.27	27.96/0.27	28.05/0.28
		0.01**	0.01	0.01	0.01
Productive moisture in spring	in 0–30 cm	25.96/0.25	25.91/0.25	25.79/0.25	25.80/0.25
		0.02	0.02	0.02	0.02
	in 0–100 cm	20.86/0.20	20.83/0.20	20.71/0.20	20.73/0.20
		0.04	0.04	0.04	0.04

Factors		Millet productivity			
		Grain	Feed units	Energy units	Forage protein units
Nutrients after sowing	Nitrates	71.80/0.71	71.78/0.71	71.55/0.71	71.75/0.71
		0.00	0.00	0.00	0.00
	Phosphorus	38.05/0.38	37.95/0.37	37.84/0.37	37.78/0.37
		0.00	0.00	0.00	0.00
	Potassium	33.07/0.33	33.01/0.33	32.79/0.32	32.93/0.32
		0.00	0.00	0.00	0.00
Biological	in 0–20 cm	62.13/0.62	62.03/0.62	61.93/0.61	62.32/0.62
		0.00	0.00	0.00	0.00

Note:* Before the line – share of the factor's influence, %; after the line – coefficient of determination;** The criterion of significance level of multiple regression ($p < 0.05$).

Воздействие весенних запасов почвенной влаги на увеличение продуктивности проса наблюдалось под посевом после твердой пшеницы в двупольном севообороте и в слое почвы 0–30 и 0–100 см — от 20,71 до 25,96 % с уровнем значимости 0,02 и 0,04 ($p < 0,05$). Наилучшее влияние оказывает содержание нитратов в пахотном слое почвы 0–30 см после посева в двупольном севообороте с твердой пшеницей, повышая выход зерна проса на 71,80 %, кормовых — 71,78 %, энергетических — 71,55 %, кормопротеиновых единиц — 71,75 % при уровне значимости 0,000002 и 0,000003. Доля влияния подвижного фосфора находится в пределах 37,78...38,05 %, калия — 32,79...33,07 % с уровнем значимости 0,003 и 0,008 соответственно. Целлюлозолитическая активность почвы (разложение целлюлозы микроорганизмами) оказывает значительное воздействие на рост культуры и повышает выход зерна на 62,13 %, кормовых — 62,03 %, энергетических — 62,32 % и кормопротеиновых единиц — 61,93 % с критерием уровня значимости 0,00003. Наибольшая активность микроорганизмов в почве приводит к легкой доступности питательных веществ для роста и развития культуры. По другим вариантам опыта не установлено воздействие изучаемых факторов на повышение продуктивности.

На основании результатов исследования в степной зоне Южного Урала для повышения урожайности зерна проса до 1,21 т/га и более рекомендуется внедрять посевы после твердой пшеницы в двупольном севообороте с применением аммофоса под вспашку в осенний период.

Заключение

Установлено, что при внесении аммофоса с дозой 40 кг/га азота и фосфора ($N_{40}P_{40}$) действующего вещества под основную обработку почвы (осенняя вспашка) происходит повышение продуктивности проса после твердой пшеницы в двупольном севообороте по сравнению с контрольным посевом. Наибольший выход зерна проса составил 1,21 т, кормовых — 1,18, энергетических — 0,70, кормопротеиновых единиц — 0,65 т/га. Максимальная прибавка от удобрения по сравнению с контролем получена по выходу зерна на 0,45 т, кормовых еди-

ниц — 0,44, энергетических — 0,26, кормопротеиновых — 0,24 т/га. В V варианте опыта (наилучшее влияние) содержание нитратов и целлюлозолитической активности микроорганизмов в почве увеличило продуктивность проса соответственно на 71,55...71,80 % и 61,93...62,32 % ($p < 0,05$). Совместное воздействие выпавших осадков в июле, весенних запасов продуктивной влаги, активности микроорганизмов, питательных веществ (нитраты, подвижный фосфор, калий), наибольшего содержания органического вещества, гумуса и нейтральной кислотности в почве обеспечивает благоприятные условия для выращивания проса на удобренном агрофоне по предшественнику твердая пшеница в двупольном севообороте. В других вариантах посева выявлено, что основные факторы и минеральные удобрения в засушливых условиях вегетационного периода не влияют на повышение продуктивности проса.

Библиографический список

1. Ярошенко Т.М., Журавлев Д.Ю., Климова Н.Ф. Влияние длительного применения различных доз минеральных удобрений на продуктивность культур зернопарового севооборота в условиях засушливой степи Поволжья // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 49–56. doi.org/10.28983/asj.y2021i8pp49–56
2. Ярошенко Т.М., Журавлев Д.Ю., Климова Н.Ф. Продуктивность культур зернопарового севооборота при длительном применении минеральных удобрений на черноземе южном Саратовского Правобережья // Аграрный Вестник Юго-Востока. 2020. № 1 (24). С. 22–25.
3. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Пищевой режим чернозема южного и продуктивность проса (*Panicum Miliaceum L.*) в длительном стационарном опыте с удобрениями // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 1. С. 3–9. doi: 10.26178/AE.2019.67.47.001
4. Скороходов В.Ю., Зоров А.А., Зенкова Н.А. Продуктивность короткоротационных севооборотов с просом на черноземах южных Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 82–86.
5. Скороходов В.Ю. Влияние погодных факторов вегетации и фона питания на накопление нитратного азота в почве под сельскохозяйственными культурами на черноземах Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 2. С. 176–185.
6. Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В. Продуктивность севооборотов с озимыми культурами и их экономическая эффективность в степной зоне Южного Урала // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 4 (100). С. 248–255.
7. Жижин В.Н., Скороходов В.Ю., Митрофанов Д.В., Кафтан Ю.В. Влияние погодных факторов на урожайность проса при возделывании в севооборотах и бессменном посеве на черноземах южных Оренбургской области // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 4. С. 217–225.
8. Антимонова О.Н., Сыркина Л.Ф. Формирование урожайности сортов проса посевного в зависимости от гидротермических условий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2020. № 10 (163). С. 74–82. doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-74-82
9. Сурков А.Ю., Суркова И.В. Влияние морфотипа проса на характер связи между признаками // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2 (34). С. 71–77. doi: 10.24411/2309-348X-2020-11172
10. Сурков А.Ю., Суркова И.В. Формирование урожайности проса и ее элементов в зависимости от гидротермических условий // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 5. С. 18–23.
11. Неверов А.А. Роль погодно-климатических факторов восточной зоны Оренбуржья в формировании урожая проса // Бюллетень Оренбургского научного центра УРО РАН. 2017. № 3. С. 7–17.
12. Неверов А.А. Компьютерное моделирование связи урожая проса с погодно-климатическими условиями западной зоны Оренбургской области // Бюллетень Оренбургского научного центра УРО РАН. 2017. № 1. С. 9–19.

13. Азизов З.М., Архипов В.В., Имашев И.Г. Урожайность проса, яровой мягкой пшеницы и яровой твердой пшеницы в условиях засушливого Поволжья // *Аграрный Вестник Юго-Востока*. 2020. № 1 (24). С. 11–13.

14. Крючков А.Г., Елисеев В.И. Ресурсы влаги и урожайность проса на чернозёме обыкновенном в степи Оренбургского Предуралья // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2009. № 4 (24). С. 18–21.

15. Ряховский А.В., Варавва В.Н. Влияние биологических особенностей агрофитоценозов проса, гречихи на их продуктивность и качество крупы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2007. № 3 (15). С. 77–80.

16. Жижин В.Н., Скороходов В.Ю., Кафтан Ю.В., Митрофанов Д.В. Биологическая активность почвы под посевом проса в зависимости от предшествующих звеньев севооборотов на черноземах южных Оренбургского Предуралья // *Вестник мясного скотоводства*. 2013. № 2 (80). С. 124–126.

References

1. Yaroshenko TM, Zhuravlev DY, Klimova NF. Influence of long-term use of various doses of mineral fertilizers on the productivity of grain-fallow crop rotation in the arid steppe of the Volga region. *The Agrarian scientific journal*. 2021;(8):49–56. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2021i8pp49-56

2. Yaroshenko TM., Zhuravlev DY, Klimova NF. Productivity of crops of grain-crop rotation during the long-term use of mineral fertilizers on the south chernozem of the Saratov Right Bank. *Agrarian Reporter of South-East*. 2020;(1):22–25. (In Russ.).

3. Chub MP, Pronko VV, Yaroshenko TM, Klimova NF, Zhuravlev DY. Nutrient status of southern chernozem and productivity of millet (*Panicum miliaceum* L.) in a long-term stationary experiment with fertilizers. *Agrochemistry and ecology problems*. 2019;(1):3–9. (In Russ.). doi: 10.26178/AE.2019.67.47.001

4. Skorokhodov VY, Zorov AA, Zenkova NA. Yields of short systems of crop rotation with true millet on southern black soils of Orenburg Preduralye. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;(5):82–86. (In Russ.).

5. Skorokhodov VY. Influence of weather factors of vegetation and the background of nutrition on the accumulation of nitrate nitrogen in the soil under crops on chernozems of Orenburg Cis-urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(2):176–185. (In Russ.).

6. Skorokhodov VY, Kaftan YV. Productivity of crop rotations with winter crops and their economic efficiency in the steppe zone of the Southern Urals. *Herald of beef cattle breeding*. 2017;(4):248–255. (In Russ.).

7. Zhizhin VN, Skorokhodov VY, Mitrofanov DV, Kaftan YV. Influence of weather factors on millet yield during cultivation in crop rotations and permanent sowing on chernozems of the southern Orenburg region. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2018;101(4):217–225. (In Russ.).

8. Antimonova ON, Syrkina LF. The formation of crop yield of millet varieties depending on hydrothermal conditions. *Bulletin of KSAU*. 2020;(10):74–82. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2020-10-74-82

9. Surkov AY, Surkova IV. Influence of millet morphotype on the relationship between traits. *Legumes and groat crops*. 2020;(2):71–77. (In Russ.). doi: 10.24411/2309-348X-2020-11172

10. Surkov AY, Surkova IV. Millet productivity and its elements depending on hydrothermal conditions. *Vestnik of Kursk state agricultural academy*. 2018;(5):18–23. (In Russ.).

11. Neverov AA. The role of weather and climatic factors of the eastern zone of Orenburg region in the formation of millet harvest. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2017;(3):7–17. (In Russ.).

12. Neverov AA. Computer simulation of when the harvest of millet weather-climatic conditions of western zone of the Orenburg region. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra URO RAN*. 2017;(1):9–19. (In Russ.).

13. Azizov ZM, Arkhipov VV, Imashev IG. Productivity of millet, spring soft wheat and durum wheat in the conditions of arid Volga region. *Agrarian Reporter of South-East*. 2020;(1):11–13. (In Russ.).

14. Kryuchkov AG, Eliseev VI. Moisture resources and millet yields on black steppe soils of the Orenburg Preduralye. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2009;(4):18–21. (In Russ.).

15. Ryakhovskiy AV, Varavva VN. Effect of biological characteristics of buck-wheat and millet agrophytocoenoses on their productivity and groats quality. *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2007;(3):77–80. (In Russ.).

16. Zhizhin VN, Skorokhodov VY, Kaftan YV, Mitrofanov DV. Biological activity of soil under millet sowing depending on previous links of crop rotations on chernozems of the southern Orenburg Urals. *Herald of beef cattle breeding*. 2013;(2):124–126. (In Russ.).

Об авторе:

Митрофанов Дмитрий Владимирович — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела земледелия и ресурсосберегающих технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», Российская Федерация, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: dvm.80@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7172-6904

SPIN-код: 8892–4092

About the author:

Mitrofanov Dmitry Vladimirovich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Agriculture and Resource-Saving Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya st., Orenburg, 460000, Russian Federation; e-mail: dvm.80@mail.ru

ORCID: 0000-0002-7172-6904

SPIN-code: 8892–4092



Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-45-58

EDN OYQWDQ

УДК 631.47:631.51

Научная статья / Research article

Водно-физические свойства каштановых почв при разных способах мелиоративной обработки

Н.Н. Дубенок¹ , А.Е. Новиков²  , А.А. Поддубский³ ,
Г.О. Чамурлиев³ , К.Б. Шумакова¹ , Р.В. Збукарев² 

¹РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

²Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, г. Волгоград, Российская Федерация

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

 ae_novikov@vniioz.ru

Аннотация. Исследовано изменение водно-физических свойств каштановых почв под влиянием разных способов их мелиоративной обработки при возделывании кукурузы (гибрид Поволжский 89 МВ) в условиях орошаемого земледелия Нижнего Поволжья. Изучены характеристики почвы: плотность, влажность, наименьшая влагоемкость, максимальная гигроскопичность, влажность завядания растений, порозность и пористость аэрации. Установлено, что после мелиоративного чизельного отвального рыхления почвы наблюдается качественное улучшение ее водно-физических свойств в сравнении с контрольным вариантом — лемешной отвальной вспашкой. Для математического описания динамики изменения плотности почвы по слоям по вариантам ее обработки предложена регрессия 2-го порядка, вычислены коэффициенты уравнения. Для поддержания заданного режима орошения по периодам наблюдений в варианте с лемешной отвальной вспашкой почвы было проведено от 7 до 9 вегетационных поливов оросительной нормой от 2250 до 2750 м³/га, в вариантах с мелиоративным чизельным безотвальным рыхлением почвы — 7...8 поливов нормой 2200...2600 м³/га, чизельным отвальным рыхлением — 6...7 поливов нормой 2100...2500 м³/га. Урожайность кукурузы в варианте с чизельным отвальным рыхлением почвы в среднем за период исследования составила 8,75 т/га, что выше контрольного варианта на 18 %.

© Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Поддубский А.А., Чамурлиев Г.О., Шумакова К.Б., Збукарев Р.В., 2023



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

при этом затраты оросительной воды на производство тонны зерна снизились почти на 20, а коэффициент водопотребления — на 17 %.

Ключевые слова: водно-физические свойства почвы, вспашка почвы, мелиоративное рыхление почвы, орошение, дождевание, кукуруза, зерно, урожайность, Нижнее Поволжье

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

История статьи: поступила в редакцию 30 ноября 2022 г.; принята к публикации 28 декабря 2022 г.

Для цитирования: Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Поддубский А.А., Чамурлиев Г.О., Шумакова К.Б., Збукарев Р.В. Водно-физические свойства каштановых почв при разных способах мелиоративной обработки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 45—58. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-45-58

Water-physical properties of chestnut soils depending on different tillage practices and irrigation regimes

Nikolay N. Dubenok¹ , Andrey E. Novikov²  , Anton A. Poddubsky³ ,
Georgiy O. Chamurlijev³ , Ksenia B. Shumakova¹ , Roman V. Zbukarev² 

¹Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russian Federation

²Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, Volgograd, Russian Federation

³Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

 ae_novikov@vniioz.ru

Abstract. The aim of the research was to study water-physical properties of chestnut soils under different tillage practices when cultivating corn (Povolzhsky 89 MV hybrid) under irrigated conditions in the Lower Volga region. Therefore, the following characteristics of the soil were studied — soil density, soil moisture, field capacity, maximal hygroscopic moisture, wilting point and porosity. The results revealed that after chisel loosening, a qualitative improvement of soil water-physical properties was observed in comparison with the control variant — moldboard plowing. To describe the dynamics of changes in soil density by layers and tillage variants, a regression of the 2nd order was proposed, and coefficients of the equation were calculated. In order to maintain the specified irrigation regime during the observation periods, 7 to 9 vegetative irrigations with application rate from 2250 to 2750 m³·ha⁻¹ were carried out in the variants with moldboard plowing, 7 to 8 irrigations with application rate from 2200 to 2600 m³·ha⁻¹ in the variants with chisel loosening, and 6 to 7 irrigations with application rates from 2100 to 2500 m³·ha⁻¹ in the variants with chisel moldboard plowing. The yield of corn in the variant with chisel moldboard plowing averaged 8.75 t·ha⁻¹ during the research period, which is 18 % higher than in the control variant. Moreover, the cost of irrigation water for producing one ton of grain decreased by almost 20 %, and the coefficient of water consumption decreased by 17 %.

Keywords: water-physical properties of soil, soil plowing, soil loosening, irrigation, sprinkling, corn, grain, yield, Lower Volga region

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

Article history: Received: 30 November 2022. Accepted: 28 December 2023.

For citation: Dubenok NN, Novikov AE, Poddubsky AA, Chamurliiev GO, Shumakova KB, Zbukarev RV. Water-physical properties of chestnut soils depending on different tillage practices and irrigation regimes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):45–58. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-45-58

Введение

В мировом земледелии посевы кукурузы занимают ведущие позиции, что обусловлено ее универсальным назначением, высокой урожайностью и энергетической ценностью, в частности корма из этой культуры подходят для кормления всех видов сельскохозяйственных животных и птиц, зерно можно использовать для производства биотоплива. В 2019 г. посевами кукурузы было занято более 191 млн га, или 10 % всех посевных площадей в мире. При этом почти 48 % приходится на Китай, США и Бразилию.

Важными факторами в получении стабильно высоких урожаев зерна кукурузы остаются оптимальный водный режим и структура почвы с макроагрегатами размером 0,25...10,0 мм [1–6].

Орошаемые почвы в состоянии увлажнения легко уплотняются при воздействии механического давления, а Na^+ , K^+ и NH_4^+ , привносимые с минеральными удобрениями, вытесняют обменный кальций из ППК (почвенно-поглощающий комплекс) и нарушают устойчивость почвенной структуры. Совокупность этих факторов приводит к образованию плужной «подошвы» на глубине 0,2–0,3 м [7–11]. Она препятствует накоплению запасов продуктивной влаги, развитию корневой системы растений, созданию оптимального воздушного, водного и пищевого режимов почвы. С увеличением плотности почвы уменьшается ее впитывающая способность и при орошении интенсифицируются ирригационно-эрозионные процессы [12–16].

Для регулирования водно-физических свойств почвы применяют мелиоративные способы обработки почвы. Это разновидности «нулевой» обработки (No-Till, Strip-Till, Mini-Till), лемешная вспашка, безотвальное рыхление, в т. ч. чизельное рыхление, комбинированные разноглубинные и многоярусные обработки [17–24].

За счет мелиоративной обработки почвы может формироваться до 25 % урожая. При этом единого мнения по выбору способа обработки почвы нет. Здесь определяющими факторами выступают влагообеспеченность осадками, температурный режим, способы управления продукционным процессом, степень и характер эрозии почвы, набор культур в севообороте, засоренность полей [25–27].

Цель исследования — оценка водно-физических свойств каштановых почв при разных способах мелиоративной обработки почвы при возделывании кукурузы в условиях орошаемого земледелия Нижнего Поволжья.

Материалы и методы исследования

По схеме полевого опыта было проведено три варианта осенней мелиоративной обработки почвы: лемешная отвальная вспашка (вариант A_1 , контроль) на глубину 0,22...0,24 м орудием ПН-5–35, чизельное безотвальное рыхление на глубину

0,25...0,27 м (вариант A_2) и чизельное отвальное рыхление на глубину 0,36...0,38 м с внедрением отвалов на 0,16...0,18 м в 1-й год проведения обработки и на глубину 0,25...0,27 м с внедрением отвалов на ту же глубину на 2 и 3-й годы проведения обработки (вариант A_3) орудием ПЧВ-5–40М.

Почвы опытного участка по гранулометрическому составу тяжелосуглинистые. В пахотном слое 0,22...0,24 м содержание гумуса — 1,65...1,75 %. Обеспеченность доступными формами азота слабая — 35...45 мг/кг, фосфором — средняя, 75...85 мг/кг, калием — повышенная, 280...300 мг/кг, местами до 450. Реакция почвенного раствора слабощелочная, рН 6,5...7,2. Плотность сложения — 1,35...1,40 т/м³ в слое 0,22...0,24 м, плотность твердой фазы — 2,54 т/м³, порозность — 43 %, наименьшая влагоемкость — 22...24 %. Водоудерживающая способность метрового слоя — 2800 м³/га. Глубина залегания грунтовых вод — более 10 м.

Опыт закладывали систематическим методом по Б.А. Доспехову (1985), В.Н. Плешакову (1983) в четырехкратной повторности. В исследованиях использовали районированный зерновой гибрид Поволжский 89 МВ. Предполивной порог влажности почвы поддерживали поливами дождеванием машиной «Фрегат» на уровне 80 % НВ в слое 0,7 м от фазы 13 листьев до окончания цветения, а в остальной период — 70 % НВ в слое почвы 0,4 м. Фон удобрений ($N_{180}P_{95}K_{50}$ кг д.в. на гектар) и агротехника (за исключением обработки почвы) на всех вариантах были идентичны.

Образцы отбирали почвенным буром в четырехкратной повторности по десятисантиметровым слоям с поверхности до глубины один метр. Водно-физические свойства каштановых почв изучали по методикам А.Ф. Вадюниной, З.А. Корчагиной (1986).

Обеспеченность вегетационного периода осадками оценивали по гидротермическому коэффициенту Г.Т. Селянинова (1937).

Нижнее Поволжье относится к зоне недостаточной влагообеспеченности. Атмосферные осадки за вегетационный период компенсируют не более 50 % суммарного водопотребления растений в засушливых районах, а в полусухих и сухих — до 30 %. В этой связи орошение выступает лимитирующим фактором в получении стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Периоды наблюдений по условиям тепло- и влагообеспеченности были близкими к среднегодовым значениям. По сумме активных температур посевы кукурузы были обеспечены теплом от 3300 до 3407 °С, а вегетационные периоды по наличию атмосферных осадков характеризовались как крайне засушливые и сухие с ГТК 0,35...0,45.

Результаты исследования и обсуждение

Для поддержания заданного режима орошения на варианте A_1 было проведено от 7 до 9 вегетационных поливов оросительной нормой от 2250 до 2750 м³/га, на вариантах с чизельным безотвальным рыхлением почвы A_2 — 7...8 поливов нормой 2200...2600 м³/га, с чизельным отвальным рыхлением почвы A_3 — 6...7 поливов нормой 2100...2500 м³/га (табл. 1).

Поливные нормы и количество поливов при разных способах мелиоративной обработки почвы (за 3 года исследований)

Обработка почвы	Водный режим почвы	Количество поливов	Поливная норма, м ³ /га	Оросительная норма, м ³ /га
A ₁	80 % НВ, h = 0,7 м 70 % НВ, h = 0,4 м	2 5...7	500 250	2250...2750
A ₂	80 % НВ, h = 0,7 м 70 % НВ, h = 0,4 м	2 5...6	500...550 250...300	2200...2600
A ₃	80 % НВ, h = 0,7 м 70 % НВ, h = 0,4 м	2 4...5	500...550 200...350	2100...2500

Table 1

Water application rate and number of irrigations under different methods of soil treatment (average over 3 years)

Soil treatment	Soil water regime	Number of irrigations	Water application rate, m ³ ·ha ⁻¹	Irrigation rate, m ³ ·ha ⁻¹
A ₁	80 % FC, h = 0.7 m 70 % FC, h = 0.4 m	2 5...7	500 250	2,250...2,750
A ₂	80 % FC, h = 0.7 m 70 % FC, h = 0.4 m	2 5...6	500...550 250...300	2,200...2,600
A ₃	80 % FC, h = 0.7 m 70 % FC, h = 0.4 m	2 4...5	500...550 200...350	2,100...2,500

Исследование плотности почвы (рис. 1) показало разную динамику ее изменения по слоям в зависимости от варианта мелиоративной обработки почвы. Наименьшая плотность пахотного слоя почвы отмечена при отвальных обработках. Перед посевом кукурузы в варианте A₁ в слое 0,0–0,3 м показатель изменялся от 1,28 до 1,37 т/м³, а перед уборкой — от 1,33 до 1,41 т/м³, в вариантах A₂ и A₃ соответственно 1,26...1,35 т/м³ перед посевом и 1,31...1,41 т/м³ перед уборкой.

Полученный эффект связан с работой отвалов на почвообрабатывающих орудиях, которые крошат и разрыхляют пахотный горизонт. При этом отвалы на чизельном орудии не оборачивают пласт на всю глубину обработки, как при лемешной вспашке, а только рыхлят верхний слой и заделывают на глубину до 0,18 м стерневые и пожнивные остатки. Снижение плотности почвы ниже плужной «подшвы» в вариантах A₂ и A₃ определено глубиной ее обработки. В слое 0,2–0,3 м существенные различия по *ρ_b* между A₁ и A₃ — снижение на 0,05 т/м³ (НСР₀₅ = 0,021 т/м³), перед посевом отмечены лишь в 1-й год наблюдений. В другие периоды значимых различий не установлено, что связано со снижением глубины обработки почвы с 0,36–0,38 до 0,25–0,27 м и постепенным выравниваем *ρ_b*. В варианте A₂ плотность почвы перед посевом кукурузы существенно выше контрольного на 0,02 т/м³, а перед уборкой — на 0,04 т/м³ (НСР₀₅ = 0,011...0,016 т/м³).

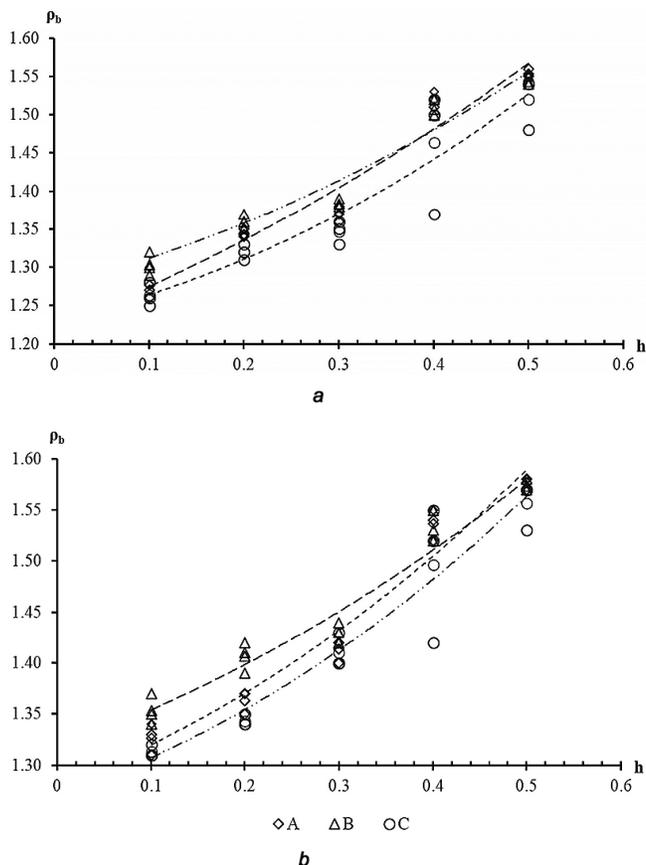


Рис. 1. Плотность сложения почвы ρ_b , т/м³, по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (б) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 1. Soil compaction density ρ_b , t·m⁻³, by layers h , m, before sowing (a) and before harvesting (b) corn under soil treatments: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Анализ экспериментальных данных показывает, что плотность сложения почвы по слоям в условиях орошения можно описать квадратичной функцией вида

$$\rho_b = ah^2 + bh + c,$$

где ρ_b — плотность почвы, т/м³; h — слой почвы, м; a , b , c — коэффициенты уравнения (табл. 2).

Таблица 2

Значения коэффициентов регрессии

Обработка почвы	Период отбор проб	Коэффициенты		
		a	b	c
А ₁	До посева	0,405	0,487	1,222
	Перед уборкой	0,571	0,331	1,281
А ₂	До посева	0,500	0,310	1,276
	Перед уборкой	0,405	0,321	1,318
А ₃	До посева	0,643	0,271	1,231
	Перед уборкой	0,571	0,297	1,272

Table 2

Values of regression coefficients

Soil treatment	Sampling period	Coefficients		
		a	b	c
A ₁	Before sowing	0.405	0.487	1.222
	Before harvesting	0.571	0.331	1.281
A ₂	Before sowing	0.500	0.310	1.276
	Before harvesting	0.405	0.321	1.318
A ₃	Before sowing	0.643	0.271	1.231
	Before harvesting	0.571	0.297	1.272

Плотность сложения почвы определяет состояние других водно-физических свойств — наименьшей влагоемкости НВ, максимальной гигроскопичности МГ и влажности завядания растений ВЗ (рис. 2).

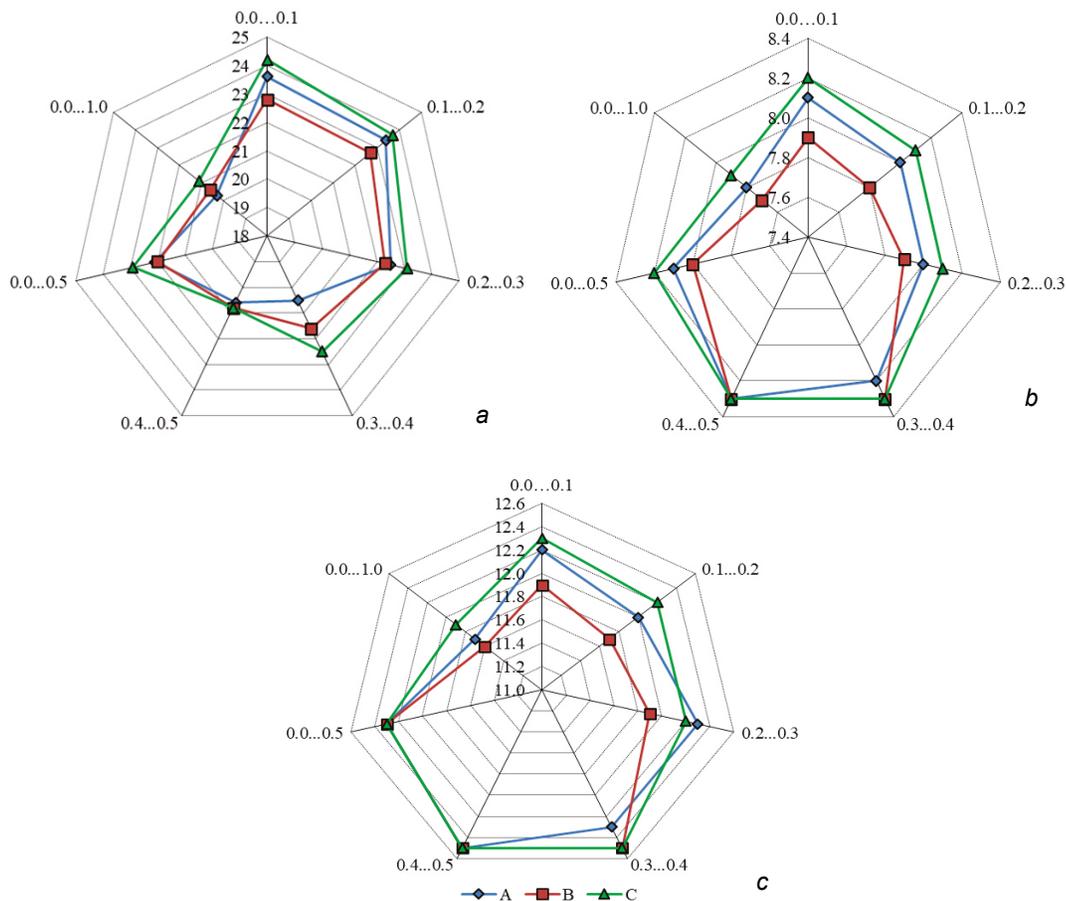


Рис. 2. Величины НВ, % (a), МГ, % (b), и ВЗ, % (c), по слоям почвы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 2. Values of FC, % (a), MHM, % (b), and WM, % (c), by soil layers under soil treatments: A – A₁, B – A₂, C – A₃

Величина МГ, характеризующая способность частиц почвы сорбировать молекулы парообразной влаги, в слое 0,0–0,1 м на контрольном варианте была существенно выше — на 0,2–0,3 % — значения показателя в варианте A_2 и настолько же ниже в варианте A_3 ($НСР_{05} = 0,13 \dots 0,19$). Значимых различий в величине МГ между вариантами с отвальными обработками почвы в слое 0,1–0,2 м не выявлено, что обусловлено соизмеримыми значениями показателей качества обработки почвы при работе отвалов: коэффициент глыбистости 70,5 (A_1) против 60,5 (A_3), коэффициент рыхления 25,5 (A_1) против 26,7 (A_3), коэффициент крошения 33,8 (A_1) против 63,4 (A_3). При этом МГ в варианте A_2 была существенно ниже — на 0,2 % ($НСР_{05} = 0,08 \dots 0,13$). Ниже плужной «подошвы» МГ по вариантам обработки почвы существенно не отличалась.

Наблюдениями за влажностью почвы (рис. 3) установлены существенные различия в значениях показателя по вариантам обработки почвы. На контроле влажность почвы в слое 0,0–0,5 м перед посевом и уборкой кукурузы составляла 14,1 и 12,9 %, что ниже на 0,3...0,6 % ($НСР_{05} = 0,08$ %), чем в варианте A_2 . В варианте A_3 влажность была выше на 2,3...2,5 % ($НСР_{05} = 0,15$ %) относительно A_1 с тенденцией снижения до 0,6...1,2 % ($НСР_{05} = 0,13 \dots 0,24$ %) на 2-й и 3-й год проведения опытов из-за уменьшения глубины рыхления почвы до 0,25...0,27 м.

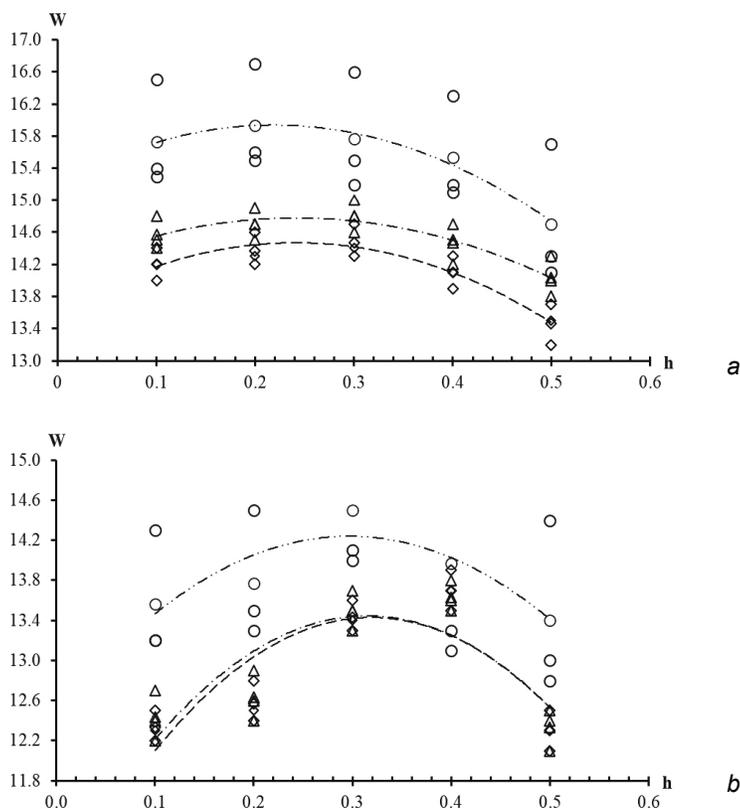


Рис. 3. Влажность почвы W , %, по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (б) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – A_1 , В – A_2 , С – A_3

Fig. 3. Soil moisture W , %, by layers h , m, before sowing (a) and harvesting (b) corn by tillage options: А – A_1 , В – A_2 , С – A_3

Большая влажность почвы в вариантах с мелиоративным чизельным рыхлением связана с разрушением плужной «подшвы», препятствующей проникновению атмосферных осадков и оросительных вод в более глубокие слои, а в случае с чизельным отвальным рыхлением — снижением эвапотранспирации поверхностью почвы и предотвращением ирригационного стока за счет формирования гребнистого дна борозды.

По экспериментальным значениям плотности и влажности почвы были рассчитаны общая порозность ε (рис. 4) и пористость аэрации ε_{air} соответствующих слоев (рис. 5).

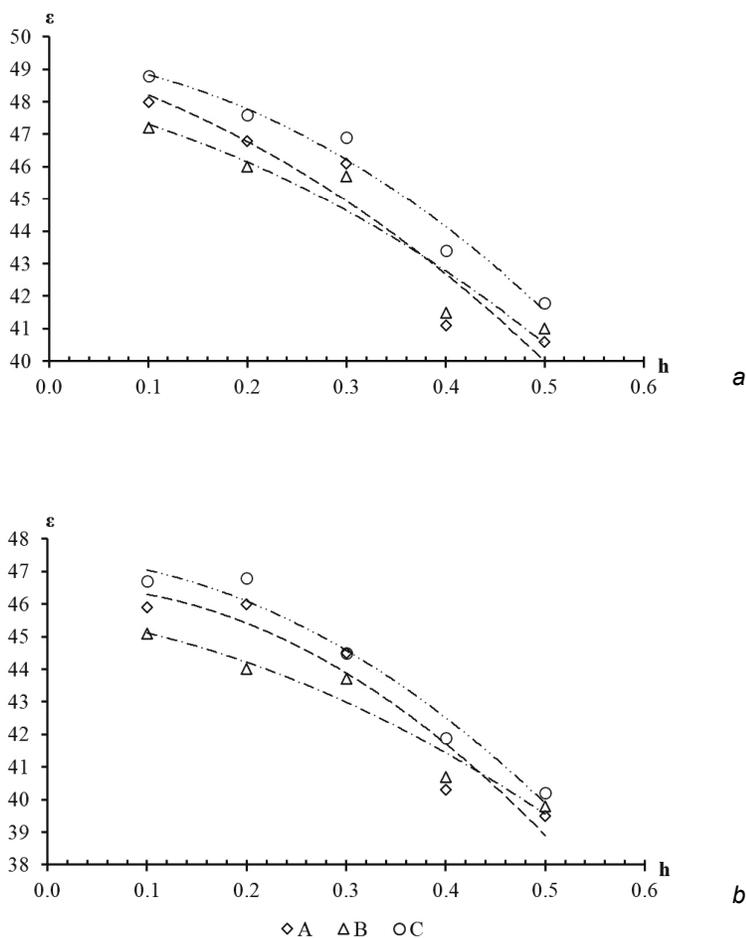


Рис. 4. Общая порозность ε , %, почвы по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (б) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 4. Total porosity ε , % of soil by layers h , m, before sowing (a) and before harvesting (b) corn under soil treatments: А – А₁, В – А₂, С – А₃

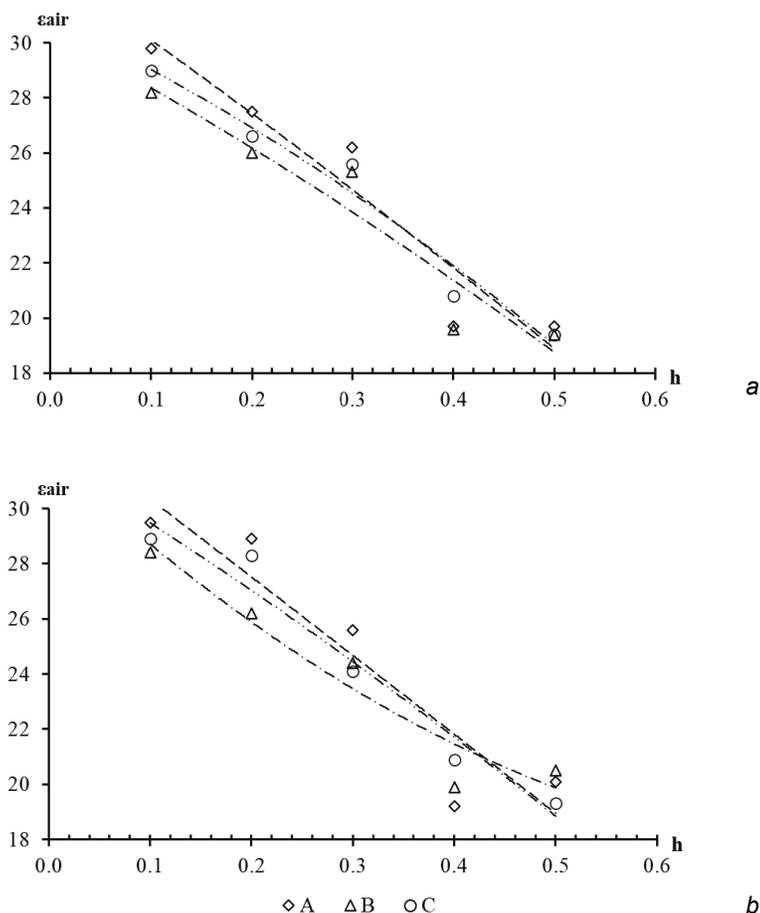


Рис. 5. Пористость аэрации ε_{air} , %, почвы по слоям h , м, перед посевом (а) и уборкой (b) кукурузы по вариантам обработки почвы: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Fig. 5. Porosity of aeration ε_{air} , %, of soil by layers h , m, before sowing (a) and before harvesting (b) corn under soil treatments: А – А₁, В – А₂, С – А₃

Порозность по всем вариантам обработки почвы в пахотном слое находится в диапазоне 43...48 %, что по классификации Н.А. Качинского (1965) свидетельствует о неудовлетворительном состоянии почв, протекании ирригационно-эрозионных процессов, влияющих на ухудшение воздухообмена, развитие анаэробных процессов.

Эффективность дифференцированного режима орошения с учетом полученного урожая зерна кукурузы оценивали по затратам оросительной воды на производство тонны зерна Q и коэффициенту водопотребления K (табл. 3). В вариантах с безотвальными и отвальными чизельными мелиоративными обработками почвы при урожайности зерна 8,48 и 8,75 т/га затраты Q в среднем составили 283 и 263 м³/т. На контрольном варианте с лемешной отвальной вспашкой при урожайности зерна 7,42 т/га ($НСР_{05} = 0,15...0,32$ т/га) затраты оросительной воды были выше соответственно на 16,0 и 22,0 %. Коэффициент водопотребления кукурузы на кон-

троле в среднем составил 642,8 м³/т (100 %) против 551,7 м³/т (87 %) в варианте А₂ и 524,6 м³/т (83 %) в варианте А₃.

Таблица 3

Элементы режима орошения кукурузы при разных способах мелиоративной обработки почвы с оценкой его эффективности (в среднем за 3 года исследований)

Обработка почвы	Оросительная норма, м ³ /га	Суммарное потребление воды, м ³ /га	Урожайность		Q, м ³ /т	K, м ³ /т
			т/га	% к контролю		
А ₁	2500	4770	7,42	100,0	337	642,8
А ₂	2400	4670	8,48	114,3	283	551,7
А ₃	2300	4590	8,75	118,0	263	524,6

Table 3

Elements of corn irrigation regime under different methods of soil treatment and assessment of the effectiveness (average over 3 years)

Soil treatment	Irrigation rate, м ³ ·ha ⁻¹	Total water consumption, м ³ ·ha ⁻¹	Yield		Q, м ³ /t	K, м ³ /t
			t·ha ⁻¹	% to the control		
A ₁	2,500	4,770	7.42	100.0	337	642.8
A ₂	2,400	4,670	8.48	114.3	283	551.7
A ₃	2,300	4,590	8.75	118.0	263	524.6

Заключение

Установлено, что дифференцированное по глубине чизельное отвальное рыхление почвы способствует улучшению основных водно-физических свойств и снижению вероятности развития ирригационно-эрозионных процессов в системе орошаемого земледелия, повышению эффективности использования растениями оросительной воды и атмосферных осадков. Разрыхление почвы ниже плужной «подшвы» при достаточном естественном или искусственном увлажнении интенсифицирует ростовые процессы как надземной, так и подземной части растений кукурузы, обеспечивающие получение качественных урожаев зерна в заданном количестве.

Библиографический список / References

1. Nath AJ, Lal R. Effects of Tillage Practices and Land Use Management on Soil Aggregates and Soil Organic Carbon in the North Appalachian Region, USA. *Pedosphere*. 2017;27(1):172–176. doi: 10.1016/S1002-0160(17)60301-1
2. Kuznetsov PI, Novikov AE. Effect of soil conditioners on water permeability and water-holding capacity of light chestnut soils. *Russian Agricultural Sciences*. 2010;36(4):279–281. doi: 10.3103/S1068367410040154
3. Blanco-Canqui H, Wienhold BJ, Jin VL, Schmer MR, Kibet LC. Long-term tillage impact on soil hydraulic properties. *Soil & Tillage Research*. 2017;170:38–42. doi: 10.1016/j.still.2017.03.001

4. Al-Kaisi MM, Douelle A, Kwaw-Mensah D. Soil microaggregate and macroaggregate decay over time and soil carbon change as influenced by different tillage systems. *Journal of Soil and Water conservation*. 2014;69(6):574–580. doi: <https://doi.org/10.2489/jswc.69.6.574>
5. Pareja-Sanchez E, Plaza-Bonilla D, Ramos MC, Lampurlanes J, Alvaro-Fuentes J, Cantero-Martinez C. Long-term no-till as a means to maintain soil surface structure in an agroecosystem transformed into irrigation. *Soil & Tillage Research*. 2017;174:221–230. doi: [10.1016/j.still.2017.07.012](https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.012)
6. Kuznetsov PI, Novikov AE. Hydraulic properties dynamic of light-chestnut soil under drip irrigation. *Melioration and Water Management*. 2009;(2):37–39. (In Russ.).
Кузнецов П.И., Новиков А.Е. Влияние способа обработки на водно-физические свойства орошаемых светло-каштановых почв // Мелиорация и водное хозяйство. 2009. № 2. С. 37–39.
7. Kuznetsov PI, Novikov AE. Energy and resource conservation in the grain corn cultivation on irrigated lands. *Russian Agricultural Sciences*. 2013;39(5–6):474–478. doi: [10.3103/S1068367413060128](https://doi.org/10.3103/S1068367413060128)
8. Volk LBD, Cogo NP. Water erosion at three moments in the corn crop, affected by soil tillage and crop sowing methods. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2014;38(2):565–574. doi: [10.1590/S0100-06832014000200021](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000200021)
9. Borodychev VV, Shevchenko VA, Novikov AE, Lamskova MI, Filimonov MI. Modeling and energy assessment of traction-exploitation indicators of serial chisel implement and plows. *Plodородие*. 2017;(6):31–33. (In Russ.).
Бородычев В.В., Шевченко В.А., Новиков А.Е., Ламскова М.И., Филимонов М.И. Энергетическая оценка тягово-эксплуатационных показателей чизельных и лемешных орудий на тяжелосуглинистых орошаемых почвах // Плодородие. 2017. № 6. С. 31–33.
10. Kusic I, Bogunovic I, Birkas M, Jurisic A, Spalevic V. The role of tillage and crops on a soil loss of an arable Stagnic Luvisol. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2017;63(3):403–413. doi: [10.1080/03650340.2016.1213815](https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1213815)
11. Das A, Lyngdoh D, Ghosh PK, Lal R, Layek J, Idapuganti RG. Tillage and cropping sequence effect on physico-chemical and biological properties of soil in Eastern Himalayas, India. *Soil & Tillage Research*. 2018;180:182–193. doi: [10.1016/j.still.2018.03.005](https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.005)
12. Ovchinnikov AS, Mezheva AS, Fomin SD, Pleskachev YN, Borisenko IB, Zvolinsky VP, et al. Energy and agrotechnical indicators in the testing of machine-tractor units with subsoiler. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017;12(24):7150–7160.
13. Pyndak VI, Novikov AE. Energy Efficiency of mechanisms and instruments for deep cultivation of soil. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2014;43(6):555–559. doi: [10.3103/S1052618814050148](https://doi.org/10.3103/S1052618814050148)
14. Bogunovic I, Pereira P, Kusic I, Sajko K, Sraka M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *Catena*. 2018;160:376–384. doi: [10.1016/j.catena.2017.10.009](https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.009)
15. Li Z, Yang X, Cui S, Yang Q, Yang X, Li J, Shen Y. Developing sustainable cropping systems by integrating crop rotation with conservation tillage practices on the Loess Plateau, a long-term imperative. *Field Crops Research*. 2018;222:164–179. doi: [10.1016/j.fcr.2018.03.027](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.027)
16. Li N, Zhou C, Sun X, Jing J, Tian X, Wang L. Effect of ridge tillage and mulching on water availability, grain yield, and water use efficiency in rain-fed winter wheat under different rainfall and nitrogen conditions. *Soil & Tillage Research*. 2018;179:86–95. doi: [10.1016/j.still.2018.01.003](https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.003)
17. Girardello VC, Amado TJC, Santi AL, Cherubin MR, Kunz J, Teixeira TDG. Soil penetration resistance, efficiency of mechanical chisel plowing and soybean grain yield in a clayey Oxisol under long-term no-till. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2014;38(4):1234–1244. doi: [10.1590/S0100-06832014000400020](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020)
18. Fernandez FG, Sorensen BA, Villamil MB. A comparison of soil properties after five years of no-till and strip-till. *Agronomy Journal*. 2015;107(4):1339–1346. doi: [10.2134/agronj14.0549](https://doi.org/10.2134/agronj14.0549)
19. Lozano LA, Soracco CG, Villarreal R, Ressa JM, Sarli GO, Filgueira RR. Soil physical quality and soybean yield as affected by chiseling and subsoiling of a no-till soil. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. 2016;40: e0150160. doi: [10.1590/18069657rbcs20150160](https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150160)
20. Daigh AL, Dick WA, Helmers MJ, Lal R, Lauer JG, Nafziger E, Pederson CH, Strock J, Villamil M, Mukherjee A, Cruseet R. Yields and yield stability of no-till and chisel-plow fields in the Midwestern US Corn Belt. *Field Crops Research*. 2018;218:243–253. doi: [10.1016/j.fcr.2017.04.002](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.04.002)
21. Borodychev VV, Dubenok NN, Novikov AE, Konovalova GV. Agrotechnics of corn for grain on irrigated lands of the Lower Volga region. *Plodородие*. 2016;(1):35–37. (In Russ.).
Бородычев В.В., Дубенок Н.Н., Новиков А.Е., Коновалова Г.В. Особенности агротехники зерновой кукурузы на орошаемых землях Нижнего Поволжья // Плодородие. 2016. № 1. С. 35–37.

22. Dubenok NN, Borodychev VV, Novikov AE, Konovalova GV. Yield capacity of corn for grain at the irrigated light-chestnut soils. *Scientific life*. 2016;(7):16–27. (In Russ.).

Дубенок Н.Н., Бородычев В.В., Новиков А.Е., Коновалова Г.В. Продуктивность кукурузы на зерно на орошаемых светло-каштановых почвах // Научная жизнь. 2016. № 7. С. 16–27.

23. Isayenko VA, Gorbunov MY. Water physical properties of the soil and their change at various technologies of processing of the soil in the crop rotation. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2012;(4):16–19. (In Russ.).

Исаенко В.А., Горбунов М.Ю. Водно-физические свойства почвы и их изменение при различных технологиях обработки почвы в севообороте // Вестник Курганской ГСХА. 2012. № 4. С. 16–19.

24. Gaevaya EA. Influence of different soil cultivation on its physical properties. *Scientific Journal of KubSAU*. 2008;(39):154–162. (In Russ.).

Гаевая Э.А. Влияние различных способов обработки почвы на ее физические свойства // Научный журнал КубГАУ. 2008. № 39(5). С. 154–162.

25. Al-Kaisi MM, Archontoulis SV, Kwaw-Mensah D, Miguez F. Tillage and crop rotation effects on corn agronomic response and economic return at seven Iowa locations. *Agronomy Journal*. 2015;107(4):1411–1424. doi: 10.2134/agnonj14.0470

26. Kuznetsov PI, Novikov AE, Melnikov AG. Innovative technologies of maize growing at irrigated lands. *Zemledelie*. 2011;(2):13–14. (In Russ.).

Кузнецов П.И., Новиков А.Е., Мельников А.Г. Инновационные технологии возделывания кукурузы на орошаемых землях // Земледелие. 2011. № 2. С. 13–14.

27. Pyndak VI, Novikov AE. Improvement of corn cultivation technology in irrigation conditions. *Agro XXI*. 2009; (7–9):50–51. (In Russ.).

Пындак В.И., Новиков А.Е. Совершенствование технологии возделывания кукурузы в условиях орошения // Агро XXI. 2009. № 7–9. С. 50–51.

Об авторах:

Дубенок Николай Николаевич — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: ndubenok@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0002-9059-9023

Новиков Андрей Евгеньевич — доктор технических наук, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: ae_novikov@vniioz.ru

ORCID: 0000-0002-8051-4786

Поддубский Антон Александрович — кандидат технических наук, директор агроинженерного департамента Агротехнологического института РУДН, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: poddubskiy-aa@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9796-2924

Чамурлиев Георгий Омариевич — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агроинженерного департамента Агротехнологического института РУДН, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: chamurliiev-go@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-6410-8438

Шумакова Ксения Борисовна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: kshumakova@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0003-3002-5420

Збукарев Роман Валентинович — лаборант-исследователь, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. им. Тимирязева, д. 9; e-mail: zbukarevr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9237-547X

About authors:

Dubenok Nikolay Nikolaevich — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of RAS, Head of the Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: ndubenok@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0002-9059-9023

Novikov Andrey Evgenievich — Doctor of Technical Sciences, Director, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9, Timiryazev st., Volgograd, 400002, Russian Federation, e-mail: ae_novikov@vniioz.ru

ORCID: 0000-0002-8051-4786

Poddubsky Anton Alexandrovich — Candidate of Technical Sciences, Director, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: poddubskiy-aa@rudn.ru

ORCID: 0000-0001-9796-2924

Chamurliev Georgiy Omerievich — Candidate of Agricultural Sciences, associate Professor, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation, e-mail: chamurliev-go@rudn.ru

ORCID: 0000-0002-6410-8438

Shumakova Ksenia Borisovna — Candidate of Agricultural Sciences, associate Professor, Department of Agricultural Land Reclamation, Forestry and Land Management, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127434, Russian Federation, e-mail: kshumakova@rgau-msha.ru

ORCID: 0000-0003-3002-5420

Zbukarev Roman Valentinovich — Laboratory researcher, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9, Timiryazev st., Volgograd, 400002, Russian Federation, e-mail: zbukarevr@mail.ru

ORCID: 0000-0002-9237-547X



Морфология и онтогенез животных Morphology and ontogenesis of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-59-70

EDN OZBUDW

УДК 591.4

Научная статья / Research article

Морфологические критерии показателей почек нетопыря малого *Pipistrellus pygmaeus*

Е.Н. Карпенко , А.Л. Харлан , Е.В. Зайцева  Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского,
г. Брянск, Российская Федерация
 liza_zayceva22@mail.ru

Аннотация. Изучение морфофизиологических особенностей, критериев и толерантности органов, участвующих в белковом обмене, у представителей отряда рукокрылых способствует пониманию процессов, влияющих на природу возбудителей зооантропонозов и макроорганизмов. Исследованы макро- и микрометрические показатели почек нетопыря малого (*Pipistrellus pygmaeus*) как результат адаптивных преобразований организма к условиям обитания на территории Брянской области. В период с 2011 по 2022 г. проведено 40 отловов с общим количеством 481 особь, 100 из них отобраны для дальнейшего изучения. На гистологических препаратах почек нетопыря малого (*Pipistrellus pygmaeus*) выполнены морфометрия нефронов, измерение показателей подоцитов, изучены ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО), области ядрышковых организаторов (ОЯОР) и их суммарная площадь. На примере вида нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) установлено, что у рукокрылых (*Chiroptera*) биологическая адаптация проявляется в развитии биологических свойств вида; функциональная и белково-синтетическая активность клеток, почек (объема клеток, ядра, цитоплазмы и ЯЦО), количества и увеличении суммарной площади (AgNORs) аргентофильной ОЯОР обусловлены топографией органа, половой принадлежностью и влиянием антропогенных негативных эффектов окружающей среды. Показаны половые различия у самок рукокрылых (*Chiroptera*) вида нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*), обитающих в городской среде, с большой численностью в колонии, на фоне сочетанной антропогенной нагрузки, под влиянием углеводорода, диоксидов серы и азота и взвешенных веществ. Выявлено, что фенотипическая адаптация

© Карпенко Е.Н., Харлан А.Л., Зайцева Е.В., 2023

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

как адаптация к полету запускает основные процессы биохимических циклов, процессы эндогенной интоксикации и детоксикационной функции в почках, усиливая обмен веществ, способствующий увеличению числа почечных клубочков и уменьшению полости капсулы почечного клубочка. Получены новые данные относительно динамики ЯЦО, количества и суммарной площади ОЯОР в подоцитах клубочков почек вида нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*), что может являться проявлением генетической адаптации к условиям среды обитания.

Ключевые слова: рукокрылые, нетопырь малый, почки, морфометрия, подоциты, ядерно-цитоплазматическое отношение, области ядрышковых организаторов, адаптация органов

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

Вклад авторов: Е.В. Зайцева — концепция и дизайн исследования; Е.Н. Карпенко — сбор и обработка материалов, написание текста; А.Л. Харлан — анализ полученных данных, написание текста. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

История статьи: поступила в редакцию 27 января 2023 г., принята к публикации 28 февраля 2023 г.

Для цитирования: Карпенко Е.Н., Харлан А.Л., Зайцева Е.В. Морфологические критерии показателей почек нетопыря малого *Pipistrellus pygmaeus* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 59–70. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-59-70

Morphological criteria for *Pipistrellus pygmaeus* kidney indicators

Elizaveta N. Karpenko , Alexey L. Kharlan , Elena V. Zaitseva  

Bryansk State University, Bryansk, Russian Federation

 liza_zayceva22@mail.ru

Abstract. At present, there is scientific and practical interest in the study of morphological and physiological features, criteria and tolerance of organs involved in protein metabolism in representatives of the order Chiroptera. Macro- and micrometric indicators of kidneys in soprano pipistrelle (*Pipistrellus pygmaeus*), as a result of adaptive transformations of the body to habitat conditions in the Bryansk region were studied. The study was conducted in the period from 2011 to 2022, 40 captures were carried out with a total of 481 individuals, of which 100 were selected for further study. On histological preparations of kidneys of soprano pipistrelle (*Pipistrellus pygmaeus*), morphometry of nephrons, podocyte parameters, nuclear-cytoplasmic ratio, areas of nucleolar organizers and their total area were studied. It was established that biological adaptation of the bats (*Chiroptera*), on the example of soprano pipistrelle (*Pipistrellus pygmaeus*), is manifested in development of biological properties of the species. The functional and protein-synthetic activity of cells, kidneys (cell volume, nucleus, cytoplasm and nuclear-cytoplasmic ratio), the number and increase in the total area of the argentophilic region of nucleolar organizers were determined by organ topography, gender and influence of anthropogenic negative environmental effects. The data obtained showed gender differences in female bats (*Chiroptera*) of *Pipistrellus pygmaeus* species living in an urban environment, having a large number in the colony, against the background of a combined anthropogenic load, under the influence of hydrocarbons, sulfur and nitrogen dioxides and suspended solids. It was found that phenotypic adaptation as an adaptation to flight triggers the main processes of biochemical cycles, the processes of endogenous intoxication and detoxification function in kidneys. In turn, it increases metabolism, which contributes to increase in the number of renal glomeruli and decrease in the cavity of renal glomerular capsule. New data characterizing nuclear-cytoplasmic ratio, number and total area of regions of

nucleolar organizers in podocytes of glomeruli in kidneys of soprano pipistrelle (*Pipistrellus pygmaeus*), which may be a manifestation of genetic adaptation to environmental conditions, were obtained.

Keywords: bats, soprano pipistrelle, kidneys, morphometry, podocytes, nuclear-cytoplasmic ratio, regions of nucleolar organizers, adaptation of organs

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Authors contribution. E.V. Zaitseva — developed and designed the experiments; E.N. Karpenko — collected and processed the data, wrote the paper; A.L. Kharlan — analyzed the data, wrote the paper. All authors read and approved the final manuscript.

Article history: Received: 27 January 2023. Accepted: 28 February 2023.

For citation: Karpenko EN, Kharlan AL, Zaitseva EV. Morphological criteria for *Pipistrellus pygmaeus* kidney indicators. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):59—70. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-59-70

Введение

Адаптация органов, участвующих в белковом обмене организма рукокрылых, к воздействиям антропогенных факторов — важная составная часть общебиологических процессов, дающая представление о взаимосвязи различных биологических систем в логичном взаимодействии причинно-следственных связей антропогенной среды [1, 2]. Вместе с этим, антропогенное изменение климата, природные и техногенные катастрофы, эпидемии не только являются основным фактором потерь в отряде рукокрылых, но и способствуют возникновению новых чрезвычайно опасных эпидемических зооантропонозов [3–5]. В этой связи всестороннее, органное изучение таких биологических объектов является неотъемлемой составной частью биологической науки как базовой основы понимания многих процессов, оказывающих свое влияние на представление о природе возбудителя и макроорганизма.

Почки млекопитающих выполняют ряд важных функций в организме, поддерживая гомеостаз. При нарушениях водно-электролитического обмена, изменяя скорости реабсорбции или секреции, они выделяют гормоны, которые регулируют артериальное давление и эритропоэз [6], также осуществляют вывод из организма продуктов белкового обмена — мочевины, креатинина, мочевой кислоты, гиппуровой кислоты и аммиака [7]. Нарушение функции почек ведет к накоплению образовавшихся азотистых продуктов белкового и небелкового обменов в тканях и в крови, вызывая азотемию и уремию [8]. Избыточное накопление азотсодержащих конечных продуктов обмена в крови и может привести к гибели млекопитающего [7].

Исследования показывают, что при окислительном фосфорилировании в почках основное количество АТФ поставляется на процессы активного транспорта при реабсорбции, секреции и биосинтезе белков. В почечных клетках — подоцитах — субстратами для реакций биоокисления являются жирные кислоты, глюкоза, кетоновые тела и др. [9]. Известно, что абсолютная масса почек у млекопитающих составляет 0,5 % от общей абсолютной массы тела. Ткань почки потребляет до 10 %

от всего поступившего в организм кислорода. Почки участвуют в катаболизме пептидов и низкомолекулярных белков массой 5–6 кДа (гормоны и биологически активные вещества (БАВ)), фильтрующихся в первичную мочу [10]. Под действием лизосомальных протеолитических ферментов в клетках канальцев почек белки и пептиды гидролизуются до аминокислот, которые, поступая в кровь, реутилизуются клетками соединительной ткани [9].

Все это особенно актуально для выявления адаптационно-приспособительных реакций организма, и в частности почек как участвующего в белковом обмене органа рукокрылых в связи с их полетом в условиях антропогенной нагрузки на территории Брянской области, где общий фон радиоактивных излучений достигает $10,70^{137}\text{Cs}$, Бк/м².

Цель исследования — изучить морфологические критерии показателей почек нетопыря малого (*Pipistrellus pygmaeus*) как адаптационные изменения к условиям антропогенной нагрузки на территории Брянской области, имеющей радиоактивный фон $10,70^{137}\text{Cs}$, Бк/м².

Материалы и методы исследования

Методологической основой исследования стали комплексные научные положения и подходы отечественных и зарубежных ученых в области морфологии и физиологии животных, биохимии, экологии, а также анализ данных, сопоставленный с собственными исследованиями по контролю влияния антропогенных факторов на адаптацию организма отряда рукокрылых (*Chiroptera*) вида нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*).

Работа выполнена в период с 2011 по 2022 гг. в лабораториях кафедры биологии Брянского государственного университета им. академика И.Г. Петровского (БГУ) под руководством доктора биологических наук, профессора Ставропольского государственного аграрного университета А.Н. Квочко при консультировании с кандидатом биологических наук, доцентом кафедры биологии БГУ И.Л. Прокофьевым.

Исследуемые рукокрылые млекопитающие вида нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) относятся к семейству гладконосые (*Vespertilionidae*) — обыкновенные летучие мыши, или кожановые. Всего было проведено 40 отловов с общим количеством 481 особь (100 отобрано для исследований). Исследуемые летучие мыши относились к территориям с разной антропогенной нагрузкой: городская среда (колония 1) и сельская местность (колония 2).

При морфометрии определяли линейные размеры внутренних органов. Для гистологических исследований уплотнение полученного материала проводилось при помощи парафина. Гистологические срезы толщиной 5...8 мкм окрашивали гематоксилином и эозином, часть полученных срезов депарафинировали для выявления Ag-ОЯОР-белков с применением гистохимической реакции с нитратом серебра по методике окраски В.И. Туриловой с соавт. [11].

На гистологических препаратах почек определяли: толщину капсулы, мкм; ширину, длину, мкм; площадь почечных клубочков, мкм²; площадь дистального и проксимального канальцев, мкм²; объем и площадь подоцитов и их ядер и ци-

топлазмы, мкм^3 ; максимальный и минимальный диаметр подоцитов и их ядер, мкм ; ядерно-цитоплазматическое отношение (ЯЦО), у.е., области ядрышковых организаторов (ОЯОР), ед., и их суммарную площадь, мкм^3 .

Результаты измерений подвергали вариационно-статистической обработке. Рассчитывали основные элементы вариационной статистики. Достоверность оценивали по Стьюденту t ($P = 95\%$). Результаты исследований заносили в протокол и журнал регистрации. Цифровой материал обрабатывали с помощью программ Microsoft Word — 2010, Microsoft Excel, входящих в пакет MS Excel 2010, на персональном компьютере ASUS ZenBook UX305FA с операционной системой Windows XP.

Макрофотографии выполняли фотокамерой телефона iPhone 5s с разрешением в 8 Мп, микрофотографии гистопрепаратов производили при помощи медицинского микровизора проходящего света μ Vizo-103XT0068, с разрешением 1024×768 в научно-исследовательских лабораториях биоиндикации и морфофизиологии человека и животных кафедры биологии БГУ.

Названия анатомических структур соответствуют Международной анатомической ветеринарной номенклатурой — *Nomenclatura Anatomica Veterinaria*, New York (2000).

Результаты исследования и обсуждение

Исследование рукокрылых производилось в локальных районах на территории Брянской области, где атмосферный воздух с повышенным содержанием углеродов, оксида углерода, формальдегида, диоксида азота, оксида азота, диоксида серы и взвешенных веществ не отвечает гигиеническим нормативам. Общий фон радиоактивных излучений составляет $10,70^{137}\text{Cs}$, Бк/ м^2 .

Результаты макроскопического исследования показали, что нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) имеет почки красно-бурого цвета с плотной консистенцией. Парные почки у нетопыря малого располагаются в небрюшном пространстве в поясничной области по обе стороны от позвоночного столба. Левая почка располагается ниже правой, которая спереди по медиальному краю граничит с двенадцатиперстной кишкой, в верхней части передней поверхности — с печенью, ниже — с ободочной кишкой. Левая почка спереди граничит с селезенкой, сзади — с ободочной кишкой, в верхней части передней поверхности — с желудком, ниже — с поджелудочной железой и тощей кишкой.

Примененный комплекс исследований позволил получить оригинальные данные, дополнить и расширить сведения о морфологических особенностях почек у самок и самцов нетопыря малого.

Под влиянием антропогенных факторов у особей обоего пола в динамике макроархитектоники почек отмечено увеличение абсолютной массы, линейных показателей и их правосторонняя асимметрия. Оценка линейных показателей почек показала, что ширина левых почек у самок и самцов в колониях отличается на 12,23...13,37 %, правых — на 12,33...13,35 %; в длине по левым почкам — от 10,03 до 10,13 %, по правым — от 11,34 до 12,03 %.

В ходе исследования проанализирована динамика микрометрических показателей почек. У летучей мыши вида нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) почка покрыта соединительнотканной капсулой фасцией — жировой капсулой, состоящей из слоя клеток жировой ткани, и фиброзной капсулой, содержащей соединительнотканнные и гладкомышечные элементы. Толщина капсулы у самок варьирует от 0,02 до 0,14 мкм ($p < 0,05$), у самцов — до 0,008 мкм.

Почечный клубочек состоит из сосудистого клубочка и окружающей его капсулы — эпителиальной оболочки Боумена. Наружный листок капсулы состоит из плоских эпителиальных клеток. Полость капсулы представляет собой узкую щель. Длина почечных клубочков у самок и самцов в колониях в левых почках отличается на 10,80...11,74 %, в правых — на 5,88...5,98 %; в ширине почечных клубочков по левым почкам разница составила от 9,77 до 10,72 %, по правым — от 10,06 до 11,02 % (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Микрометрические параметры почечных клубочков и толщины капсулы почек нетопыря малого

Пол	Колония	Почечный клубочек			Толщина капсулы почек, мкм
		Длина, мкм	Ширина, мкм	Площадь, мкм ²	
Правая почка					
Самки	1 колония	0,204 ± 0,006*	0,086 ± 0,005*	0,051 ± 0,002*	0,016 ± 0,009*
	2 колония	0,216 ± 0,004*	0,085 ± 0,005*	0,049 ± 0,002*	0,014 ± 0,006*
Самцы	1 колония	0,167 ± 0,002*	0,078 ± 0,003	0,041 ± 0,003*	0,008 ± 0,001
	2 колония	0,170 ± 0,002*	0,080 ± 0,002	0,040 ± 0,003	0,008 ± 0,002
Левая почка					
Самки	1 колония	0,189 ± 0,006*	0,089 ± 0,003*	0,051 ± 0,004	0,009 ± 0,002
	2 колония	0,209 ± 0,004*	0,087 ± 0,002	0,050 ± 0,003*	0,009 ± 0,002*
Самцы	1 колония	0,175 ± 0,004	0,083 ± 0,002	0,039 ± 0,002	0,008 ± 0,004
	2 колония	0,178 ± 0,003*	0,085 ± 0,003 [#]	0,037 ± 0,003*	0,006 ± 0,002*

Примечание: статистические различия между самцами и самками обозначены: * – $p < 0,05$.

Table 1

Micrometric parameters of renal glomeruli and thickness of renal capsule in soprano pipistrelle

Sex	Colony	Renal glomerulus			Thickness of renal capsule, μm
		Length, μm	Width, μm	Area, μm ²	
Right kidney					
Females	1 colony	0.204 ± 0.006*	0.086 ± 0.005*	0.051 ± 0.002*	0.016 ± 0.009*
	2 colony	0.216 ± 0.004*	0.085 ± 0.005*	0.049 ± 0.002*	0.014 ± 0.006*
Males	1 colony	0.167 ± 0.002*	0.078 ± 0.003	0.041 ± 0.003*	0.008 ± 0.001
	2 colony	0.170 ± 0.002*	0.080 ± 0.002	0.040 ± 0.003	0.008 ± 0.002
Left kidney					
Females	1 colony	0.189 ± 0.006*	0.089 ± 0.003*	0.051 ± 0.004	0.009 ± 0.002
	2 colony	0.209 ± 0.004*	0.087 ± 0.002	0.050 ± 0.003*	0.009 ± 0.002*
Males	1 colony	0.175 ± 0.004	0.083 ± 0.002	0.039 ± 0.002	0.008 ± 0.004
	2 colony	0.178 ± 0.003*	0.085 ± 0.003 [#]	0.037 ± 0.003*	0.006 ± 0.002*

Note: statistical differences between males and females are indicated: * – $p < 0.05$.

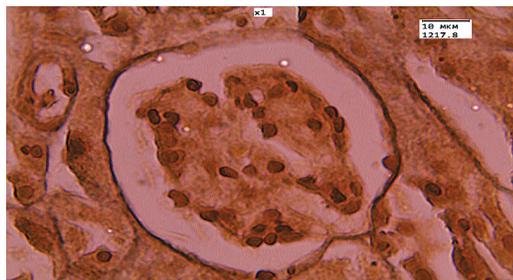


Рис. 1. Строение почечного клубочка левой почки самки нетопыря малого (колония № 1). Окраска по методу В.И. Туриловой с соавт. (1998), $\times 1200$

Fig. 1. Structure of renal glomerulus in the left kidney of female soprano pipistrelle (colony no. 1). Coloring according to the method of V.I. Turilova et al. (1998), $\times 1200$

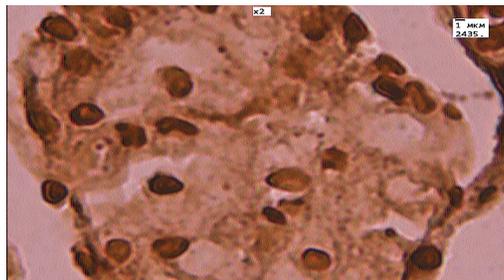


Рис. 2. Области ядрышковых организаторов в подоцитах клубочка левой почки самки (колония № 1). Окраска по методу В.И. Туриловой с соавт. (1998), $\times 2400$

Fig. 2. Areas of nucleolar organizers in podocytes of glomerulus of the left kidney of female (colony no. 1). Coloring according to the method of V.I. Turilova et al. (1998), $\times 2400$

Отмечена существенная разница в площади почечных клубочков у самок и самцов в колониях — по левым почкам она составила от 13,07 до 13,5 %, по правым почкам — от 12,25 до 12,43 %. Установлена правосторонняя симметрия в динамике площади почечных клубочков у самцов в обеих колониях.

У летучих мышей в почках, в корковом веществе располагаются проксимальные извитые и дистальные извитые канальцы. Дистальные канальцы почек мелкие светлые с широким и ровным просветом.

Дистальные канальцы почек не имеют щеточной каемки, базальная мембрана или базальный лабиринт хорошо развит. Стенка дистальных канальцев почек состоит из низкого призматического эпителия. В дистальных канальцах почек происходит интенсивная реабсорбция электролитов.

В почках у нетопыря малого проксимальные канальца окрашиваются темнее, имеют большие размеры. Просвет проксимального канальца узкий, неправильной формы. Щеточная каемка проксимального канальца имеет ярко выраженные микроворсинки. Стенка проксимального канальца состоит из однослойного кубического каемчатого эпителия. Известно, что в проксимальных канальцах почек происходит активная и интенсивная реабсорбция всех веществ, поступающих в организм животного.

За период исследования установлено, что по площади дистального канальца у самок и самцов в обеих колониях прослеживается правосторонняя асимметрия, в динамике проксимального канальца — левосторонняя. Исследования показали значительные различия микроморфологических характеристик почек у нетопыря малого различного пола и под влиянием антропогенных факторов: площадь дистального канальца левых почек у самок и самцов в колониях отличается на 9,41...11,33 %, правых — 9,44...11,25 %; разница в площади проксимального канальца по левым почкам составила 10,51...11,38 %, по правым — 10,83...11,05 %.

По данным К. Такше¹, подоциты нефрона почек несут различную функциональную нагрузку и активность и имеют различия ядерно-цитоплазматического отношения. Тесная зависимость — ЯЦО имеется между размерами ядра и размерами клетки, что и подтверждено в нашем исследовании.

Количество ядрышек в ядре клетки меняется в зависимости от генного баланса. Ядрышко — производная единица митотических хромосом — не является самостоятельно-действующим органоидом. Ядрышковые организаторы локализуются в локусах ядрышек во время активной стадии интерфазы. Для выявления ядрышковых организаторов используют красители на основе солей серебра [11].

Известно, что ядрышки имеют гранулярный и фибриллярный компонент. Гранулярный компонент, или диффузная часть, ядрышек — это зоны скопления гранул, фибрилл, хроматиновый компонент — это зона скопления околядрышкового хроматина [12].

В показателях подоцитов почек отмечается правосторонняя асимметрия. Следует отметить, что на объем подоцитов, их ядер и цитоплазмы, на ядерно-цитоплазматическое отношение подоцитов правой почки приходится большая морфофункциональная нагрузка, чем на левую почку (табл. 2, рис. 2). Правая почка в большей степени реагирует на антропогенную нагрузку.

Таблица 2

Объем подоцитов, их ядер и цитоплазмы, ядерно-цитоплазматическое отношение подоцитов почек нетопыря малого

Год	Объем, мкм ³			Ядерно-цитоплазматическое отношение ЯЦО, у. е.
	Подоциты	Ядра подоцитов	Цитоплазма подоцитов	
Левая почка				
Самки (колония № 1)				
2014	15,37 ± 0,03	0,57 ± 0,09	14,80 ± 0,06	3,85 ± 1,50
2018	15,83 ± 0,46	0,62 ± 0,05*	15,21 ± 0,41*	4,07 ± 0,12*
Самки (колония № 2)				
2014	15,12 ± 0,06	0,65 ± 0,08	14,27 ± 0,02	4,29 ± 4,00
2018	15,37 ± 0,25*	0,70 ± 0,05	14,47 ± 0,20*	4,57 ± 0,25*
Самцы (колония № 1)				
2014	17,13 ± 0,05	0,81 ± 0,04	16,32 ± 0,01	4,96 ± 4,00
2018	17,25 ± 0,12*	0,93 ± 0,12*	16,32 ± 0,01	5,69 ± 1,00*
Самцы (колония № 2)				
2014	15,25 ± 0,06	0,90 ± 0,07	14,35 ± 0,01	6,27 ± 7,00
2018	15,37 ± 0,12*	0,95 ± 0,05	14,42 ± 0,07*	6,58 ± 0,71*
Правая почка				
Самки (колония № 1)				
2014	16,55 ± 0,07	0,61 ± 0,03	15,94 ± 0,07	3,82 ± 0,42
2018	17,48 ± 0,09	0,90 ± 0,09	16,58 ± 0,01*	5,42 ± 9,00*
Самки (колония № 2)				
2014	15,47 ± 0,10	0,71 ± 0,05	14,76 ± 0,05	4,81 ± 0,01

¹ Такше К. Введение в количественную цито-гистологическую морфологию. Будапешт: Изд-во АН СССР, 1980. 191 с.

Окончание табл. 2

Год	Объем, мкм ³			Ядерно-цитоплазмное отношение ЯЦО, у. е.
	Подоциты	Ядра подоцитов	Цитоплазма подоцитов	
2018	15,53 ± 0,06	0,84 ± 0,13*	14,66 ± 0,07	5,72 ± 1,85*
Самцы (колония № 1)				
2014	17,20 ± 0,03	0,83 ± 0,08	16,37 ± 0,05	5,81 ± 1,60
2018	17,12 ± 0,08*	0,87 ± 0,04	16,25 ± 0,04	6,11 ± 1,00*
Самцы (колония № 2)				
2014	15,72 ± 0,07	0,92 ± 0,03	14,80 ± 0,04	6,21 ± 0,75
2018	15,61 ± 0,11*	0,97 ± 0,05	14,64 ± 0,06	6,62 ± 0,83

Примечание: статистические различия между самцами и самками обозначены: * – p < 0,05.

Table 2

Volume of podocytes, their nuclei and cytoplasm, nuclear-cytoplasmic ratio of podocytes in kidneys of soprano pipistrelle

Year	Volume, μm ³			Nuclear-cytoplasmic ratio, c. u.
	Podocytes	Podocyte nuclei	Podocyte cytoplasm	
Left kidney				
Females (colony № 1)				
2014	15.37 ± 0.03	0.57 ± 0.09	14.80 ± 0.06	3.85 ± 1.50
2018	15.83 ± 0.46	0.62 ± 0.05*	15.21 ± 0.41*	4.07 ± 0.12*
Females (colony № 2)				
2014	15.12 ± 0.06	0.65 ± 0.08	14.27 ± 0.02	4.29 ± 4.00
2018	15.37 ± 0.25*	0.70 ± 0.05	14.47 ± 0.20*	4.57 ± 0.25*
Males (colony № 1)				
2014	17.13 ± 0.05	0.81 ± 0.04	16.32 ± 0.01	4.96 ± 4.00
2018	17.25 ± 0.12*	0.93 ± 0.12*	16.32 ± 0.01	5.69 ± 1.00*
Males (colony № 2)				
2014	15.25 ± 0.06	0.90 ± 0.07	14.35 ± 0.01	6.27 ± 7.00
2018	15.37 ± 0.12*	0.95 ± 0.05	14.42 ± 0.07*	6.58 ± 0.71*
Right kidney				
Females (colony № 1)				
2014	16.55 ± 0.07	0.61 ± 0.03	15.94 ± 0.07	3.82 ± 0.42
2018	17.48 ± 0.09	0.90 ± 0.09	16.58 ± 0.01*	5.42 ± 9.00*
Females (colony № 2)				
2014	15.47 ± 0.10	0.71 ± 0.05	14.76 ± 0.05	4.81 ± 0.01
2018	15.53 ± 0.06	0.84 ± 0.13*	14.66 ± 0.07	5.72 ± 1.85*
Males (colony № 1)				
2014	17.20 ± 0.03	0.83 ± 0.08	16.37 ± 0.05	5.81 ± 1.60
2018	17.12 ± 0.08*	0.87 ± 0.04	16.25 ± 0.04	6.11 ± 1.00*
Males (colony № 2)				
2014	15.72 ± 0.07	0.92 ± 0.03	14.80 ± 0.04	6.21 ± 0.75
2018	15.61 ± 0.11*	0.97 ± 0.05	14.64 ± 0.06	6.62 ± 0.83

Note: statistical differences between males and females are indicated: * – p < 0.05.

Увеличение количества областей ядрышковых организаторов в ядрышках косвенно свидетельствует об интенсивности синтеза белка в процессе созревания клеток. Иногда количество ядрышек на одно ядро может быть меньше числа ядрышковых организаторов. Количество ядрышковых организаторов характеризует количество ядрышек на одно ядро, которое возрастает по мере увеличения его плоидности [11, 12].

В нашем исследовании мы констатировали, что у самок и самцов в 2014 г. в правых почках, в ядрах подоцитов клубочков обнаруживалось от 5 до 7 областей ядрышковых организаторов, общая площадь ОЯОР в сумме варьировала от 0,462 до 0,546 мкм², в левых почках — от 6 до 7 областей ядрышковых организаторов, но их общая суммарная площадь составляла несколько меньше и изменялась в диапазоне от 0,451 до 0,534 мкм². В ядрах подоцитов клубочков правых почек у самцов и самок в 2018 г. насчитывалось от 5 до 7 областей ядрышковых организаторов с их общей суммарной площадью от 0,465 до 0,581 мкм², в левых почках — от 5 до 7 областей ядрышковых организаторов, общая площадь которых суммарно достигала 0,457...0,567 мкм² ($p < 0,05$).

При изучении влияния антропогенной нагрузки на адаптацию подоцитов выявлена максимальная величина суммарной площади ОЯОР в их ядрах в обеих почках у самок и самцов во второй колонии в 2018 г., наименьшая — у самцов и самок в первой колонии в 2014 г. Данный факт свидетельствует об увеличении интенсивности обменных процессов в ядрах подоцитов почечных клубочков при негативном влиянии факторов окружающей среды.

Заключение

У рукокрылых (*Chiroptera*) нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) в почках у самок выражена в большей степени левосторонняя асимметричность, чем у самцов, длины, ширины и площади почечных клубочков, площади проксимального канальца.

Правосторонняя асимметричность площади дистального канальца почек, увеличение числа почечных клубочков при одновременном уменьшении полости капсулы почечного клубочка у самок в первой и второй колониях выше, чем у самцов, что связано с половыми особенностями процесса обмена веществ и адаптации к полету в техногенных условиях.

В подоцитах почек изменения объема, ядра, цитоплазмы и ядерно-цитоплазматического отношения, количества суммарной площади аргентофильной области ядрышковых организаторов обусловлены белково-синтетической активностью, гендерной принадлежностью, топографией органа и влиянием антропогенных негативных эффектов окружающей среды.

У самок рукокрылых, обитающих в городской среде с большой численностью в колонии, на фоне сочетанной антропогенной нагрузки под влиянием углеводов, диоксидов серы и азота и взвешенных веществ происходят изменения показателей органоидов подоцитов в почках, способные влиять на фенотипическую адаптацию

(как адаптацию к полету), запускать основные процессы биохимических циклов, процессы эндогенной интоксикации и детоксикационной функции.

Усиленный обмен веществ в почках летучих мышей способствует увеличению числа почечных клубочков и уменьшению полости капсулы почечного клубочка.

Изменения и пластичность динамики ядерно-цитоплазматического отношения, количества и суммарной площади областей ядрышковых организаторов в подоцитах клубочков почек провоцирует запуск генетической адаптации.

Установленные критерии пределов толерантности и закономерностей анатомо-морфофизиологических изменений почек рукокрылых (*Chiroptera*) нетопырь малый (*Pipistrellus pygmaeus*) предлагаем использовать в качестве морфологической нормы — референта.

Библиографический список

1. Russo D., Jones G. Bats as bioindicators: an introduction // *Mamm. Biol.* 2015. Vol. 80. № 3. P. 157–246. doi: 10.1016/j.mambio.2015.03.005
2. Put J.E., Mitchell G.W., Fahrig L. Higher bat and prey abundance at organic than conventional soybean fields // *Biol. Cons.* 2018. Vol. 226. P. 177–185. doi: 10.1016/j.biocon.2018.06.021
3. Макаров В.В., Лозовой Д.А. Новые особо опасные инфекции, ассоциированные с рукокрылыми. Владимир: РУДН, ФГБУ «ВНИИЗЖ», 2016. 160 с.
4. Flache L., Ekschmitt K., Kierdorf U., Czarnecki S., Düring R.A., Encarnaçao J.A. Reduction of metal exposure of Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) following remediation of pond sediment as evidenced by metal concentrations in hair // *Sci. Total Environ.* 2016. № 547. P. 182–189. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.131.
5. Pulscher L.A., Gray R., McQuilty R., Rose K., Welbergen J., Phalen D.N. Investigation into the utility of flying foxes as bioindicators for environmental metal pollution reveals evidence of diminished lead but significant cadmium exposure // *Chemosphere.* 2020. Vol. 254. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126839
6. Гриб В.В., Зайцева Е.В., Прокофьев И.Л., Зайцева Е.Н. Гистологические особенности почек и надпочечников нетопыря малого (*Pipistrellus pygmaeus*), обитающего на территории Брянской области // *Вестник Брянского государственного университета.* 2015. № 2. С. 392–396.
7. Квочко А.Н. Оценка белково-синтетической функции в почках меринсовых овец в постнатальном онтогенезе // *Цитология.* 2001. Т. 43. № 12. С. 1174–1178.
8. Чиграй О.Н. Влияние иммуномодулятора «Фоспренил» на гематологические и биохимические показатели крови у бройлеров кросса «Ross-308» // *Ученые записки Брянского государственного университета.* 2016. № 1. С. 89–90.
9. Нарциссов Р.П., Комиссарова И.А. Цитохимическое изучение гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов лимфоцитов периферической крови // *Лабораторное дело.* 1980. № 7. С. 390–394.
10. Лисунова Л.Н., Токарев В.А. Белковый и минеральный обмен в организме перепелов // *Птицеводство.* 2009. № 9. С. 35.
11. Турилова В.И., Смирнова Т.Д., Самойлович М.П., Сухих Т.Р. Функциональная морфология ядрышкообразующих районов хромосом и ядрышек в клетках линии множественной миеломы человека. I. Изменение морфологии и характера серебрения ядрышкообразующих районов хромосом клеточных линий RPM1 8226 и U 266, различающихся по степени дифференцировки, на протяжении 7 суток после пересева клеток // *Цитология.* 1998. Т. 40. № 6. С. 536–547.
12. Збарский И.Б. Организация клеточного ядра. М.: Медицина, 1988. 368 с.

References

1. Russo D, Jones G. Bats as bioindicators. *Mammalian Biology.* 2015;80(3):157–246. doi: 10.1016/j.mambio.2015.03.005
2. Put JE, Mitchell GW, Fahrig L. Higher bat and prey abundance at organic than conventional soybean fields. *Biological Conservation.* 2018;226:177–185. doi: 10.1016/j.biocon.2018.06.021

3. Makarov VV, Lozovoy DA. *Novye osobo opasnye infektsii, assotsirovannye s rukokrylymi* [New especially dangerous infections associated with bats]. Vladimir: RUDN University publ.; 2016. (In Russ.).
4. Flache L, Ekschmitt K, Kierdorf U, Czarniecki S, Düring RA, Encarnaçao JA. Reduction of metal exposure of Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) following remediation of pond sediment as evidenced by metal concentrations in hair. *Science of The Total Environment*. 2016;547:182–189. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.131
5. Pulscher LA, Gray R, McQuilty R, Rose K, Welbergen J, Phalen DN. Investigation into the utility of flying foxes as bioindicators for environmental metal pollution reveals evidence of diminished lead but significant cadmium exposure. *Chemosphere*. 2020;254:126839. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126839
6. Grib VV, Zaitseva EV, Prokofiev IL, Zaitseva EN. Histological features of kidneys and adrenal glands of small bat (*Pipistrellus pygmaeus*) inhabiting territory of the Bryansk region. *The Bryansk State University Herald*. 2015;(2):392–396. (In Russ.).
7. Kvochko AN. Evaluation of the activity of protein synthesis in kidneys of merino sheep in postnatal ontogenesis. *Tsitologiya*. 2001;43(12):1174–1178. (In Russ.).
8. Chigray ON. The influence of immunomodulator Fosprenil on hematological and blood biochemical parameters in broilers of cross «Ross-308». *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016;(1):89–90. (In Russ.).
9. Narcissov RP, Komissarova IA. Cytochemical study of hydrolytic and redox enzymes of peripheral blood lymphocytes. *Russian Clinical Laboratory Diagnostics*. 1980;(7):390–394. (In Russ.).
10. Lisunova LN, Tokarev VA. Protein and mineral metabolism in the body of quails. *Ptitsevodstvo*. 2009;(9):35. (In Russ.).
11. Turilova VI, Smirnova TD, Samoilovich MP, Sukhikh TR. Functional morphology of nucleolus-forming regions of chromosomes and nucleoli in human multiple myeloma cells. I. Changes in the morphology and character of silvering of the nucleolus-forming regions of the chromosomes of cell lines RPMI 8226 and U 266, which differ in the degree of differentiation, during 7 days after cell reseeded. *Tsitol*. 1998;40(6):536–547. (In Russ.).
12. Zbarsky IB. *Organizatsiya kletchnogo yadra* [Organization of cell nucleus]. Moscow: Meditsina publ.; 1988. (In Russ.).

Об авторах:

Карпенко Елизавета Николаевна — ассистент кафедры химии, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241007, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14; e-mail: liza_zayceva22@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4765-7216

Харлан Алексей Леонидович — кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241007, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14; e-mail: alexkharlan@mail.ru

ORCID: 0000-0003-0790-7804

Зайцева Елена Владимировна — доктор биологических наук, профессор кафедры биологии, декан естественно-географического факультета, Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, Российская Федерация, 241007, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14; e-mail: z_ev11@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1244-3058

About authors:

Karpenko Elizaveta Nikolaevna — Assistant, Department of Chemistry, Bryansk State University, 14 Bezhitskaya st., Bryansk, 241007, Russian Federation; e-mail: liza_zayceva22@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4765-7216

Kharlan Alexey Leonidovich — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Biology, Bryansk State University, 14 Bezhitskaya st., Bryansk, 241007, Russian Federation; e-mail: alexkharlan@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0790-7804

Zaitseva Elena Vladimirovna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Biology, Dean of Faculty of Natural Geography, Bryansk State University, 14 Bezhitskaya st., Bryansk, 241007, Russian Federation; e-mail: z_ev11@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1244-3058



Животноводство Animal breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-71-79

EDN WVEZPE

УДК 636.082:636.02:636.2.033:636.271

Научная статья / Research article

Биотехнологические аспекты ускоренного воспроизводства калмыцкой мясной породы

В.Ю. Бабенков¹ , А.И. Хахлинов¹  , Р.Д. Сангаджиев¹ ,
Е.Ю. Макарова² , О.С. Мергульчиев¹ 

¹Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова,
г. Элиста, Российская Федерация

²Независимый исследователь, Белгородская область, Российская Федерация
 arspeople@mail.ru

Аннотация. В России поголовье мясного скота до недавнего времени было сосредоточено главным образом в Калмыкии и прилегающих регионах. Отсутствие целенаправленной селекционной работы привело к тому, что чистопородное поголовье калмыцкой мясной породы значительно сократилось и потеряло свои уникальные качества, что вызывает большие опасения. Скорейшее решение проблемы восстановления породных качеств при условии ускоренного размножения генотипированного поголовья представляется возможным при внедрении биотехнологии эмбриотрансфера. Требовалось выяснить возможности калмыцкой породы с учетом реактивности на полиовуляцию с гарантированной продуктивностью достаточного количества качественных эмбрионов (основного показателя, специфичного для каждой породы) как фактора, определяющего ускоренное воспроизводство племенного поголовья при использовании метода эмбриотрансфера. Учитывая, что изначально формирование породы происходило в условиях пастбищного содержания с выраженным сезонным половым циклом, были сомнения в применимости технологии эмбриотрансфера в любой сезон года. Работа проводилась на коровах калмыцкой мясной породы в 2010 г. в ОАО «Калмыцкое» по племенной работе и в 2022 г. в региональном научно-производственном центре по воспроизводству сельскохозяйственных животных при Калмыцком государственном университете им. Б.Б. Городовикова. Результаты исследования показали, что синхронизацию охоты с помощью простагландинов лучше проводить по истечении 3–4 месяцев после отела в мае-октябре. По результатам иммуногенетического тестирования в качестве доноров были отобраны

© Бабенков В.Ю., Хахлинов А.И., Сангаджиев Р.Д., Макарова Е.Ю., Мергульчиев О.С., 2023



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

10 племенных коров-первотелок и 2 быка-производителя. В сентябре-октябре в целях апробации метода эмбриотрансфера в условиях номадного животноводства провели первые работы по стимуляции полиовуляции и получению эмбрионов у 3 коров-доноров. Всего было получено 7 яйцеклеток и 16 эмбрионов, 10 из последних оценены как пригодные для трансплантации. Пригодные эмбрионы были заморожены на программном замораживателе ЗЭМ-4 после эквilibрации в растворе криопротектора этиленгликоля в 1,5 М концентрации.

Ключевые слова: эмбриотрансфер, генофонд, генотип, суперовуляция, фолликул, яйцеклетка, эмбрион, мясной скот

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

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

История статьи: поступила в редакцию 28 октября 2022 г., принята к публикации 23 ноября 2022 г.

Для цитирования: Бабенков В.Ю., Хахлинов А.И., Сангаджиев Р.Д., Макарова Е.Ю., Мергульчиев О.С. Биотехнологические аспекты ускоренного воспроизводства калмыцкой мясной породы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 71–79. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-71-79

Biotechnologies for accelerated reproduction of Kalmyk cattle

Vladimir Y. Babenkov¹ , Arslang I. Khakhlinov¹  ,

Roman D. Sangadzhiev¹ , Elena Y. Makarova², Ochir S. Mergulchiev¹ 

¹Kalmyk State University, *Elista, Russian Federation*

²Independent Researcher, *Belgorod region, Russian Federation*

 arspeople@mail.ru

Abstract. In Russia, the number of beef cattle until recently was concentrated mainly in Kalmykia and adjacent regions. However, the lack of purposeful breeding has led to the fact that the purebred livestock of Kalmyk meat breed has significantly decreased and lost its unique qualities. Introduction of embryo transfer biotechnology can solve the problem of restoring breed qualities under the condition of accelerated reproduction of genotyped livestock. The aim of the research was to study Kalmyk breed response to polyovulation considering further increase in transferrable embryo productivity — the main indicator specific to each breed. As the formation of the breed took place in pasture conditions with a pronounced seasonal sexual cycle, there were doubts about the possibility of using embryo transfer technology in any season. The experiments were carried out on Kalmyk cows at Kalmytskoye farm in 2010 and at the Regional Research and Production Center for Reproduction of Farm Animals, Kalmyk State University, in 2022. The results of the study showed that it was better to synchronize sexual hunting using prostaglandins after 3–4 months after calving (May–October). According to the results of immunogenetic testing, 10 breeding cows and 2 breeding bulls were selected as donors. In September–October, in order to test the embryo transfer method in nomadic animal husbandry, the first work was carried out to stimulate polyovulation and obtain embryos from 3 donor cows. A total of 23 embryos and eggs were obtained,

10 of which were suitable for transplantation. Transferrable embryos were frozen on a ZEM-4 software freezer after equilibration in 1.5 M ethylene glycol cryoprotector solution.

Keywords: embryo transfer, gene pool, genotype, superovulation, follicle, egg, embryo, beef cattle

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

Funding. The research was performed under the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (no. 075–03–2022–119/1 ‘Features of organization of genome of beef cattle breeds associated with high adaptive and productive potential, based on highly polymorphic genetic markers’).

Article history: Received: 28 October 2022. Accepted: 23 November 2023.

For citation: Babekov VY, Khakhlinov AI, Sangadzhiev RD, Makarova EY, Mergulchiev OS. Biotechnologies for accelerated reproduction of Kalmyk cattle. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):71–79. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-71-79

Введение

Калмыцкая порода мясного скота является одной из древних и лучших российских пород мясного направления продуктивности — долгое время относилась к аборигенным породам, являющимися приоритетными объектами охраны в агробиоценозах [1]. В настоящее время эта порода отнесена к заводским. В каждой аборигенной породе есть важный признак в селекционном плане, отличающий породу от других консолидированных групп животных [2, 3]. Потеря аборигенных пород — это утрата породных ассоциаций генов, генотипов, уникального генофонда, что будет иметь разнообразные отрицательные последствия: значительно снизится эффективность селекции, уже существующие породы не будут в состоянии противостоять постоянно эволюционирующим возбудителям болезней и станут легкой жертвой эпизоотий. Что касается калмыцкой породы, она обладает уникальными качествами, которых нет у других пород крупного рогатого скота ни в одной стране мира [4]. Формирование калмыцкого скота происходило в условиях кочевого хозяйства, при круглогодичном содержании животных на пастбище. Животные этой породы отличаются крепкой конституцией, ей нет равных по здоровью, выносливости, устойчивости к заболеваниям. Мясо говядины, полученное от калмыцкого скота, отличается «мраморностью» и высочайшим качеством [5, 6].

К способам сохранения породного генофонда относятся хранение спермы, ооцитов, эмбрионов и ДНК в замороженном состоянии при $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ неограниченное время [7, 8].

При использовании биотехнологии трансплантации эмбрионов появляется уникальная возможность сохранения генофонда калмыцкой породы и ее ускоренного воспроизводства [9–11]. При использовании реципиентов скорость роста стада возрастает в несколько раз. При криоконсервации гамет генетические ресурсы изолированы от эволюционного процесса, сохраняются в первоначальном виде неограниченное время и могут быть использованы для восстановления породы в чистом виде [12–15].

Цель исследования — определить возможности репродуктивных качеств калмыцкой мясной породы на реактивность множественной овуляции яичников с образованием качественных эмбрионов, как фактора, определяющего ускоренное воспроизводство племенного поголовья при использовании метода эмбриотрансфера.

Материалы и методы исследования

Работу проводили в 2010 г. в ОАО «Калмыцкое» по племенной работе и в 2022 г. в региональном научно-производственном центре по воспроизводству сельскохозяйственных животных ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет им. Б.Б. Городовикова» на коровах калмыцкой мясной породы.

В племенных хозяйствах Калмыкии провели отбор коров в качестве доноров эмбрионов в количестве 25 коров, отелившихся в феврале-марте. Работа была начата в апреле.

Стимуляцию полиовуляции у коров проводили по методике В.Ю. Бабенкова с соавторами (патент Республики Беларусь № 12490) путем однократного введения фолликулостимулирующего гормона с пролонгатором, показавшей положительные результаты в предыдущих исследованиях.

Множественный рост фолликулов с последующей полиовуляцией индуцировали фолликулостимулирующим гормоном российского производства «ФСГ-супер» (ФСГ) в дозе 50 ед. по Арморковскому стандарту с веществом пролонгирующего действия, аналогично методике 2010 г. Ее преимущества заключаются в том, что препарат вводят однократно, в отличие от общепринятой методики, включающей 8-кратное введение каждые 12 часов, что сопряжено с трудовыми затратами и стрессовым воздействием на животных. Через 48 часов после инъекции ФСГ коровам вводили простагландин «Эстрофан», в дозе 500 мкг по клопростенолу и повторно через 12 часов в дозе 250 мкг.

Через 60 и 72 часа после первой инъекции Эстрофана животных осеменяли двукратно охлажденным свежеполученным семенем чистопородного быка-производителя.

Извлечение эмбрионов осуществляли нехирургическим методом с помощью катетера Фоллея. Для вымывания использовали среду Дюльбекко с добавлением антибиотиков и бычьего сывороточного альбумина (БСА).

Поиск, отбор и оценка качества эмбрионов проводились на бинокулярной лупе МБС-10.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью офисного программного комплекса Microsoft Office с применением программы Excel (Microsoft, США) с обработкой данных в Statistica 9.0 (Stat Soft Inc., США).

Результаты исследования и обсуждение

С учетом того, что ранее работа с калмыцкой мясной породой в технологии эмбриотрансфера никем не проводилась, нами в 2010 г. было решено поставить серию экспериментов в этом направлении. Исследования провели специалисты ОАО «Калмыцкое» по племенной работе В.Ю. Бабенков, А.И. Хахлинов, Н.В. Чимидова.

Уже в начале экспериментальных исследований установлено, что синхронизация охоты с помощью простагландинов у коров с телятами на подсосе в течение первых трех месяцев после отела не имеет успеха. Следует отметить, что в этот период коровы не реагировали полиовуляцией даже на «принудительную» гормональную обработку ФСГ с использованием вагинальных сидров с прогестероном. Яичники отличались минимальными размерами (фасоль). При этом отсутствовали признаки охоты, в яичниках не было развивающихся фолликулов и, соответственно, желтых тел к 7 дню вымывания эмбрионов. Лишь по истечении 3–4 месяцев после отела отмечали нормальный половой цикл, что позволило вызвать положительную реакцию на стимуляцию полиовуляции. Таким образом, нами отмечена ярко выраженная сезонность в проявлении полового цикла у коров калмыцкой мясной породы с телятами на подсосе. Первые положительные успехи были получены лишь в конце мая и период с мая по октябрь для получения эмбрионов оказался наиболее продуктивным.

В этот период нами впервые было получено за 21 вымывание от 19 коров-доноров (2 донора использовали двукратно) и заморожено в криобанк для длительного хранения 132 пригодных эмбриона. Выход качественных эмбрионов за одно извлечение в среднем составил 6,3 ед., что является высоким показателем и превышает стандарт по молочной породе на 1,3 эмбриона (табл. 1).

Таблица 1

Суперовуляция и эмбриопродуктивность коров-доноров калмыцкой мясной породы

Показатели	Результаты
Обработано коров-доноров, гол.	50
Реагировало суперовуляцией, всего – %	25–50,0
Положительных по извлечению доноров, всего – %	21–84,0
Число овуляций, всего – в среднем на донора	217–10,3
Получено зародышей, всего – в среднем на донора	182–8,7
в т. ч.:	
пригодных, всего – в среднем на донора	132–6,3
доля от общего числа, %	72,5
дегенерированных эмбрионов и яйцеклеток, всего – в среднем на донора	50–2,4
доля от общего числа, %	27,5

Table 1

Superovulation and embryo productivity of Kalmyk donor cows

Indicators	Results
Treated donor cows, head	50
Superovulatory response in cows, total – %	25–50.0
Positive for donor extraction, total – %	21–84.0
Number of ovulations, total – per donor	217–10.3
Number of embryos, total – per donor	182–8.7
Freezable embryos, total – per donor	132–6.3
Freezable embryos, %	72.5
Degenerated embryos and eggs, total – per donor	50–2.4
Degenerated embryos and eggs, %	27.5

Низкий процент (50 %) реагирующих животных (см. табл. 1) объясняется половой сезонностью. В то же время уровень суперовуляции (10,3 на донора) и выход качественных эмбрионов (72,5 %) были достаточно высокими, что позволяет использовать коров калмыцкой мясной породы в программах по эмбриотрансферу. По ряду причин работа в этом направлении была приостановлена на неопределенный срок.

В 2022 г. в Калмыцком государственном университете была создана лаборатория «Организация генома КРС мясных пород, ассоциированных с высоким адаптивным и продуктивным потенциалом, на основе высокополиморфных генетических маркеров». Приоритетные направления научно-практических исследований лаборатории — создание референсной базы данных крупного рогатого скота мясных пород на основе современных ДНК-технологий и разработка селекционной программы с использованием высокополиморфных молекулярных маркеров, а также отбор генетически ценных коров для ускоренного воспроизводства племенного поголовья с использованием технологии эмбриотрансфера.

В 2022 г. по результатам иммуногенетического тестирования в качестве доноров были отобраны 10 племенных коров-первотелок и 2 быка-производителя. В сентябре-октябре в целях апробации метода эмбриотрансфера в условиях нomaдного животноводства провели первые работы по стимуляции полиовуляции и получению эмбрионов у 3 коров-доноров.

Всего было получено 7 яйцеклеток и 16 эмбрионов, из которых 10 пригодных и 6 дегенерированных (табл. 2).

Таблица 2

Результаты стимуляции полиовуляции и получения эмбрионов у коров-доноров калмыцкой мясной породы

Показатели	Результаты
Обработано коров-доноров, гол.	3
Реагировало суперовуляцией, всего – %	3–100,0
Число овуляций, всего – в среднем на донора	26–8,7
Получено зародышей, всего – в среднем на донора	23–7,7
в т.ч.: пригодных, всего – в среднем на донора	10–3,3
доля от общего числа, %	43,5
дегенерированных эмбрионов и яйцеклеток, всего – в среднем на донора	13–4,3
доля от общего числа, %	56,5

Table 2

Stimulation of polyovulation and embryo productivity in Kalmyk cows

Indicators	Results
Treated donor cows, head	3
Superovulatory response in cows, total – %	3–100.0
Number of ovulations, total – per donor	26–8.7
Number of embryos, total – per donor	23–7.7
Freezable embryos, total – per donor	10–3.3
Freezable embryos, %	43.5
Degenerated embryos and eggs, total – per donor	13–4.3
Degenerated embryos and eggs, %	56.5

Пригодные эмбрионы были заморожены на программном замораживателе ЗЭМ-4 после эквilibрации в растворе криопротектора этиленгликоля в 1,5 М концентрации.

Заключение

Полученные на начальном этапе результаты не показали высокой эффективности по причине ограниченного количества обработанных доноров. Однако данные наших исследований, проведенных в 2010 г., и результаты текущего эксперимента показывают принципиальную возможность использования биотехнологических методов как средства ускорения воспроизводства калмыцкого скота, наряду с традиционным искусственным осеменением.

Библиографический список

1. Салаев Б.К., Зулаев М.С., Надбитов Н.К., Натыров А.К., Гаряев У.Э. Калмыцкое традиционное животноводство. Элиста: Изд-во Калм. ун-та, 2018. 142 с.
2. Болаев Б.К. Мясное скотоводство Калмыкии // Мясное скотоводство — приоритеты и перспективы развития: междунар. науч.-практ. конф., Оренбург, 2018. С. 24–29.
3. Еременко В.К., Каюмов Ф.Г. Калмыцкий скот и методы его совершенствования: монография. М.: Вестник РАСХН, 2005. 385 с.
4. Каюмов Ф.Г., Шевхужев А.Ф., Герасимов Н.П. Селекционно-племенная работа с калмыцкой породой скота на современном этапе // Известия СПБГАУ. 2017. № 3 (48). С. 64–72.
5. Чимидова Н.В., Моисейкина Л.Г., Убушиева А.В., Калугина О.В., Авшеева А.Б. Изменения генофонда скота калмыцкой породы // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 4. С. 65–73. doi: 10.33284/2658-3135-103-4-65
6. Паронян И.А. Возможности сохранения и совершенствования генофонда пород крупного рогатого скота отечественной селекции // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 63–66. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10516
7. Решетникова Н.М., Ескин Г.В., Комбарова Н.А., Порошина Е.С., Шавырин И.И. Проблемы снижения плодовитости у высокопродуктивных коров // Проблемы биологии продуктивных животных. 2011. Спецвыпуск 4. С. 116–121.
8. Гавриков А.М. Биотехнология воспроизведения мясного скота методом трансплантации эмбрионов. Дубровицы, 2012. 125 с.
9. Umut C., Özmen M.F., Küçükaslan İ., Köse M., Kutsal H.G., Çınar E.M. Effect of the interval from follicle aspiration to initiation of lengthened FSH treatment on follicular superstimulatory and superovulatory responses and embryo production in lactating Simmental cows // Theriogenology. 2019. Vol. 128. P. 218–224. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.02.008
10. Бабенков В.Ю., Хромов Н.И., Машталер Д.В., Хромова В.В. Вспомогательные репродуктивные технологии в воспроизводстве и селекции КРС // Фермер. Черноземье. 2017. С. 36–37.
11. Кнуров Д.А., Бригида А.В., Иванова Д.В., Игнатьев А.В. Эффективность трансплантации эмбрионов крупного рогатого скота в АО «Агропромышленная фирма «Наша житница» // Ветеринария и кормление. 2022. № 3. С. 45–47. doi: 10.30917/АТТ-ВК-1814-9588-2022-3-11
12. Юдин В.М. Селекционно-генетические аспекты использования трансплантации эмбрионов в разведении крупного рогатого скота // Бюллетень науки и практики. 2016. № 10 (11).
13. Bekele T., Mekuriaw E., Walelegn B. Bovine Embryo Transfer and Its Application: Arwiew // Journal of Health, Medicine and Nursing, 2016. Vol. 26. P. 48–60.
14. Schaeffer L.R., Kennedy B.W. Effects of embryo transfer in beef cattle on genetic evaluation Methodology // Journal of animal science. Oct 1989. V. 67. № 10. P. 2536–2543. doi:10.2527/jas1989.67102536x
15. Лихоман А.В., Усенко В.В., Пустовая А.О. Результаты внедрения трансплантации эмбрионов крупного рогатого скота // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 121 (7). С. 2177–2211. doi: 10.21515/1990-4665-121-138

References

1. Salaev BK, Zulaev MS, Nadbitov NK, Natyrov AK, Garyaev UE. *Kalmytskoe traditsionnoe zhivotnovodstvo* [Kalmyk traditional animal husbandry]. Elista; 2018. (In Russ.).
2. Bolaev BK. Meat cattle breeding in Kalmykia. In: *Meat cattle breeding — priorities and development prospects: conference proceedings*. Orenburg; 2018. p.24–29. (In Russ.).
3. Eremenko VK, Kayumov FG. *Kalmytskii skot i metody ego sovershenstvovaniya* [Kalmyk cattle and methods of its improvement]. Moscow: Vestnik RASKhN publ.; 2005. (In Russ.).
4. Kayumov FG, Shevkhuzhev AF, Gerasimov NP. Selection and breeding work with the Kalmyk breed of cattle at the present stage. *Izvesniya Saint-petersburg state agrarian university*. 2017; (48):64–72. (In Russ.).
5. Chimidova NV, Moiseykina LG, Ubushieva AV, Kalugina OV, Avsheeva AB. Changes in the gene pool of the Kalmyk cattle. *Animal husbandry and fodder production*. 2020;103(4):65–73. (In Russ.). doi: 10.33284/2658-3135-103-4-65
6. Paronyan IA. Possibilities of preservation and improvement of the gene pool of cattle of domestic breeding. *Achievements of science and technology in agro-industrial complex*. 2018;32(5):63–66. (In Russ.). doi: 10.24411/0235-2451-2018-10516
7. Reshetnikova NM, Eskin GV, Kombarova NA, Poroshina ES, Shavyrin II. Problems of decreased fertility in high producing dairy cows. *Problems of productive animal biology*. 2011;(S4):116–121. (In Russ.).
8. Gavrikov AM. *Biotehnologiya vosproizvedeniya myasnogo skota metodom transplantatsii embrionov* [Biotechnology for the reproduction of beef cattle by the method of embryo transplantation]. Dubrovitsy; 2012. (In Russ.).
9. Cirit Ü, Özmen MF, Küçükaslan İ, Köse M, Kutsal HG, Çınar EM. Effect of the interval from follicle aspiration to initiation of lengthened FSH treatment on follicular superstimulatory and superovulatory responses and embryo production in lactating Simmental cows. *Theriogenology*. 2019;128:218–224. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.02.008
10. Babenkov VY, Khromov NI, Mashtaler DV, Khromova VV. Assisted reproductive technologies in the reproduction and selection of cattle. *Fermer. Chernozem'e*. 2017;(4):24–25. (In Russ.).
11. Knurov DA, Brigida AV, Ivanova DV, Ignatiev AV. Efficiency of transplantation of cattle embryos in Agroindustrial firm «Nasha zhitnitsa». *Veterinaria i kormlenie*. 2022;(3):45–47. (In Russ.).
12. Yudin VM. Selection and genetic aspects of the use of embryo transfer in cattle breeding. *Bulletin of Science and Practice*. 2016;(10):64–72. (In Russ.).
13. Bekele T, Mekuriaw E, Walelegn B. Bovine Embryo Transfer and Its Application: Arwiew. *Journal of Health, Medicine and Nursing*. 2016; 26:48–60.
14. Schaeffer LR, Kennedy BW. Effects of embryo transfer in beef cattle on genetic evaluation methodology. *Journal of animal science*. 1989;67(10):2536–2543. doi: 10.2527/jas1989.67102536x
15. Lihoman AV, Usenko VV, Pustovaya AO. The results of implementation of cattle embryos transplantation. *Polythematic online scientific journal of Kuban state agrarian university*. 2016;121:2177–2211. (In Russ.). doi: 10.21515/1990-4665-121-138

Об авторах:

Бабенков Владимир Юрьевич — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, РНПЦ ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова», Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, 4 корпус КалмГУ; e-mail: v.babenkov@mail.ru
ORCID: 0000-0003-1061-2281

Хахлинов Арсланг Иванович — директор, РНПЦ ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова», Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, 4 корпус КалмГУ; e-mail: arspeople@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1373-0243

Сангаджиев Роман Даваевич — зам. директора РНПЦ, ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова», Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, 4 корпус КалмГУ; e-mail: romich312@mail.ru
ORCID: 0000-0002-6687-9914

Макарова Елена Юрьевна — эмбриолог, независимый исследователь, Российская Федерация, 309188, Белгородская обл., г. Губкин, ул. Садовая, д. 6; e-mail: jumak@mail.ru
ORCID: 0000-0002-3297-6521

Мергульчиев Очир Сергеевич — магистрант 1 курса направления «Технология ведения мясного животноводства», ФГБОУ ВО «КалмГУ им. Б.Б. Городовикова», Российская Федерация, 358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, 5 микрорайон, 4 корпус КалмГУ; e-mail: ochir.mos80@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6288-0432

About authors:

Babenkov Vladimir Yuryevich — doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, Kalmyk State University, 3 Pyaty mikroraion, Elista, Republic of Kalmykia, 358000, Russian Federation; e-mail: v.babenkov@mail.ru
ORCID: 0000-0003-1061-2281

Kakhlinov Arslang Ivanovich — Director, Kalmyk State University, 3 Pyaty mikroraion, Elista, Republic of Kalmykia, 358000, Russian Federation; e-mail: arspeople@mail.ru
ORCID: 0000-0002-1373-0243

Sangadzhiev Roman Daavaevich — Deputy Director, Kalmyk State University, 3 Pyaty mikroraion, Elista, Republic of Kalmykia, 358000, Russian Federation; e-mail: ro-mich312@mail.ru
ORCID: 0000-0002-6687-9914

Makarova Elena Yurievna — Embryologist, Independent Researcher, 6 Sadovaya st., Gubkin, Belgorod region, 309188, Russian Federation; e-mail: jumak@mail.ru ORCID: 0000-0002-3297-6521

Mergulchiev Ochir Sergeevich — Master Student (Technology of meat livestock management), Kalmyk State University, 3 Pyaty mikroraion, Elista, Republic of Kalmykia, 358000, Russian Federation; e-mail: ochir.mos80@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6288-0432

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-80-91
EDN WYHFOC
УДК 636.1.082.13

Научная статья / Research article

Состояние вятской породы лошадей в основных ареалах ее разведения

С.П. Басс¹  , Н.Ф. Белоусова² , Г.В. Азимова¹ , А.Н. Гуляева¹ ¹Удмуртский государственный аграрный университет, г. Ижевск, Российская Федерация²Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства,

п. Дивово, Рязанская обл., Российская Федерация

 sveta.bass@inbox.ru

Аннотация. В настоящее время существенному сокращению подвергаются аборигенные породы сельскохозяйственных животных, что вызывает серьезные опасения, поскольку такие породы являются носителями ценных приспособительных качеств. Цель исследований — оценка состояния генофонда лошадей вятской породы по основным ареалам ее разведения. Для изучения данного вопроса был проведен анализ поголовья племенных лошадей в сельскохозяйственных предприятиях, а также у частных владельцев на территории трех регионов Российской Федерации: Удмуртская Республика, Кировская область, Центральный федеральный округ (ЦФО). Для генетической характеристики все поголовье в каждой популяции было разбито на группы с учетом степени родства: 1 группа — аутбредные, 2 группа — с отдаленным инбридингом Fx (0,2...1,55 %), 3 группа — с умеренным Fx (1,56...12,5 %), 4 группа — с близким инбридингом Fx (12,6...25 %). Коэффициент инбридинга определяли по формуле Райта — Кисловского. Наиболее типичными с правильным экстерьером являются аутбредные лошади из популяции ЦФО. Мониторинг количественного состава породы показал, что за период с 1995 по 2021 год количество конематок увеличивалось с 73 до 287 голов. Однако в начале 2022 г. зафиксировано резкое сокращение численности основного состава конематок до 222 голов, что создает определенные трудности в селекционном процессе. Наибольшее количество конематок сейчас сосредоточено в центральном регионе — 83 головы. Анализ генетического разнообразия на основании изучения возрастания гомозиготности особей в условиях ограниченного генофонда на современном этапе работы с породой показал, что 43,3 % представителей являются аутбредными. В равном соотношении получены представители вятской породы отдаленным и умеренным инбридингом 28,1 и 27 % соответственно. Наиболее типичными с правильным экстерьером являются аутбредные лошади из популяции ЦФО.

Ключевые слова: вятская порода лошадей, ограниченный генофонд, степень инбридинга, коэффициент инбридинга, селекция лошадей, популяция

© Басс С.П., Белоусова Н.Ф., Азимова Г.В., Гуляева 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>

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации согласно тематическому плану ФГБОУ ВО Ижевская государственная сельскохозяйственная академия (тема № 122020300065–3).

Вклад авторов: Н.Ф. Белоусова — концепция и дизайн исследования; С.П. Басс — анализ полученных данных, написание текста; Г.В. Азимова, А.Н. Гуляева — обработка материалов.

История статьи: поступила в редакцию 29 сентября 2022 г., принята к публикации 14 ноября 2022 г.

Для цитирования: Басс С.П., Белоусова Н.Ф., Азимова Г.В., Гуляева А.Н. Состояние вятской породы лошадей по основным ареалам ее разведения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 80–91. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-80-91

State of Vyatka horse population in regions of Russia

Svetlana P. Bass¹  , Natalya F. Belousova² ,
Glafira V. Azimova¹ , Anna N. Gulyaeva¹ 

¹Udmurt state agricultural university, *Izhevsk, Russian Federation*

²Russian Research Institute of Horse Breeding, *Divovo, Ryazan Region, Russian Federation*

 sveta.bass@inbox.ru

Abstract. The current state of Vyatka horse breed gene pool was studied in the research. It was revealed that the main array of the breeding stock is concentrated in three populations of three regions — the Udmurt Republic, the Kirov region, the Central Federal District. The purpose of the research was to assess the state of gene pool of Vyatka breed in modern conditions. Population of breeding stock horses both in agricultural enterprises and on private farms was analyzed in the territory of three regions of the Russian Federation: the Udmurt Republic, the Kirov Region, the Central Federal District. According to the genetic characteristics, horses in each population were divided into groups based on the relation degree: group 1 — outbred, group 2 — with distant Fx inbreeding (0.2...1.55 %), group 3 — with moderate Fx inbreeding (1.56...12.5 %), group 4 — with close Fx inbreeding (12.6...25 %). The coefficient of inbreeding was estimated according to the Wright-Kislovsky formula. The most typical horses with an inherent conformation were outbred horses from the population of the Central Federal District. Monitoring the quantitative composition of the breed showed that the number of mares increased from 73 to 287 heads over the period from 1995 to 2021. However, a sharp decrease in the number of mares (222 heads) was recorded at the beginning of 2022. This tendency creates certain difficulties in the selection process. The largest number of mares is concentrated in the Central Federal District — 83 heads nowadays. At the present stage of work with Vyatka breed the analysis of genetic diversity showed that 43.3 % of the representatives were outbred, it was based on the study of the increase in homozygosity of individuals in a limited gene pool. Representatives of the Vyatka breed were obtained in equal proportions by remote and moderate inbreeding — 28.1 and 27 %, respectively. The most typical with the correct conformation were outbred horses from the population of the Central Federal District.

Key words: Vyatka horse breed, limited gene pool, inbreeding degree, inbreeding coefficient, horse selection, population

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

Funding. The study was carried out within the state task of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation according to the thematic plan of Izhevsk State Agricultural Academy (no. 122020300065–3).

Authors contribution: N.F. Belousova — developed and designed the experiments; S.P. Bass — analyzed the data, wrote the paper; G.V. Azimova, A.N. Gulyaeva — collected the data.

Article history: Received: 29 September 2022. Accepted: 14 November 2022.

For citation: Bass SP, Belousova NE, Azimova GV, Gulyaeva AN. State of Vyatka horse population in regions of Russia. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):80–91. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-80-91

Введение

В настоящее время практика и наука Российской Федерации объединились в решении глобальной проблемы, связанной с вопросами биологического разнообразия. Проблема встала достаточно остро, поскольку утрата многочисленных видов животных и птицы идет быстрыми темпами. На территории Российской Федерации зарегистрированы почти 400 пород животных, из которых в среднем 40 % находятся на грани исчезновения [1]. Существенному сокращению подвергаются аборигенные породы сельскохозяйственных животных, что вызывает серьезные опасения, поскольку такие породы являются носителями ценных приспособительных качеств [2]. Актуальным направлением в аграрном секторе является сохранение и совершенствование лошадей отечественных пород, которые могут быть достаточно конкурентноспособными, обладающими целым рядом ценных адаптивных свойств. В статистику исчезающей породы лошадей на сегодня входит и аборигенная порода — вятская. Порода насчитывает трехсотлетнюю историю с различными периодами взлета и забвения [3, 4]. В настоящее время ряд аборигенных пород подвергаются изучению по особенностям аллелофонда, в результате исследований выявлено, что данные породы обладают достаточно высоким уровнем генетического разнообразия [5]. Основная характерная особенность вятской породы заключается в универсальности ее использования и наличии высоких приспособительных качеств в условиях русского севера [6, 7].

Для сохранения породы важны племенные мероприятия в селекционном процессе. Особую сложность вызывает ограниченный состав племенного поголовья, участвующего в сохранении и совершенствовании породы. По классификации статусов риска вятскую породу можно охарактеризовать как «в состоянии опасности, контролируемая», т.е. порода с общей численностью конематок от 100 до 1000 голов, для такой популяции применяются программы сохранения, и она контролируется

специалистами научно-исследовательских учреждений [1, 2]. Основной отличительной особенностью пород с ограниченным генофондом от пород глобальных является повышенный уровень гомозиготности, который находит определенное отражение в уровне инбридинга [8]. Накопленный в настоящее время богатый опыт по использованию инбридинга в племенной работе позволил всесторонне и более объективно подойти к оценке инбридинга, определить его место в системе племенной работы современного индустриализированного животноводства и коневодства [9–15].

Цель исследования — оценка состояния генофонда лошадей вятской породы в основных ареалах ее разведения. Для достижения цели поставлены задачи: проанализировать общий массив популяции лошадей и по основным ареалам распространения; изучить степень родства основного поголовья в породе, коэффициенты возрастания гомозиготности в зависимости от популяций.

Материалы и методы исследований

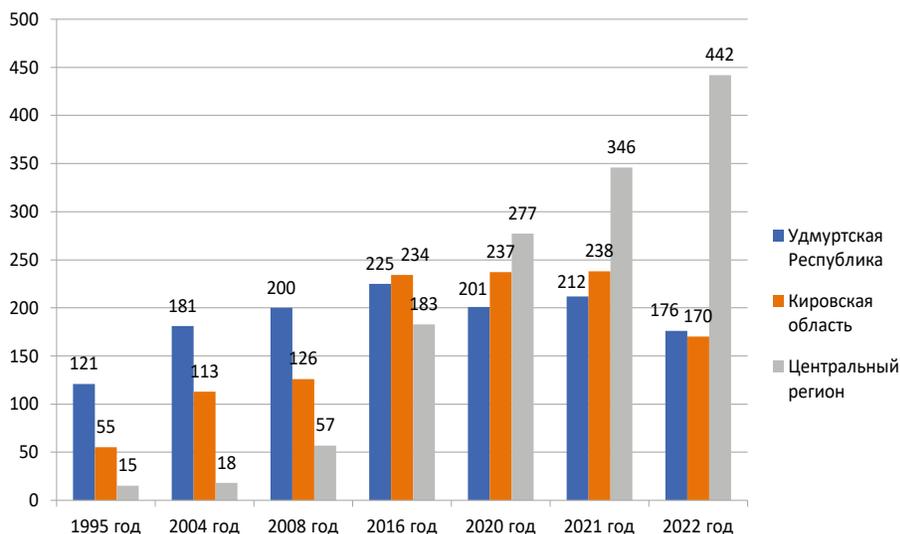
Объектом исследований послужили лошади вятской породы племенного состава и их потомство в количестве 374 головы. Материалы исследования: первичная зоотехническая документация, каталог жеребцов-производителей (2015 г.), база данных породы. Анализ степени родства в массиве породы изучали на основании данных родословных с учетом четырех поколений. Для сравнительной оценки лошадей были сформированы три группы наиболее многочисленных представителей породы, принадлежащих к разным популяциям, разводимым в трех регионах: Удмуртская Республика, Кировская область и Центральный регион (ЦФО). Для генетической характеристики все поголовье в каждой популяции было разбито на группы с учетом степени родства: группа 1 — аутбредные, группа 2 — с инбридингом отдаленным F_x (0,2...1,55 %), группа 3 — с умеренным F_x (1,56...12,5 %), инбридингом близким F_x (12,6...25 %). Коэффициент инбридинга определяли по формуле Райта — Кисловского [14, 15, 19].

Результаты исследований и обсуждение

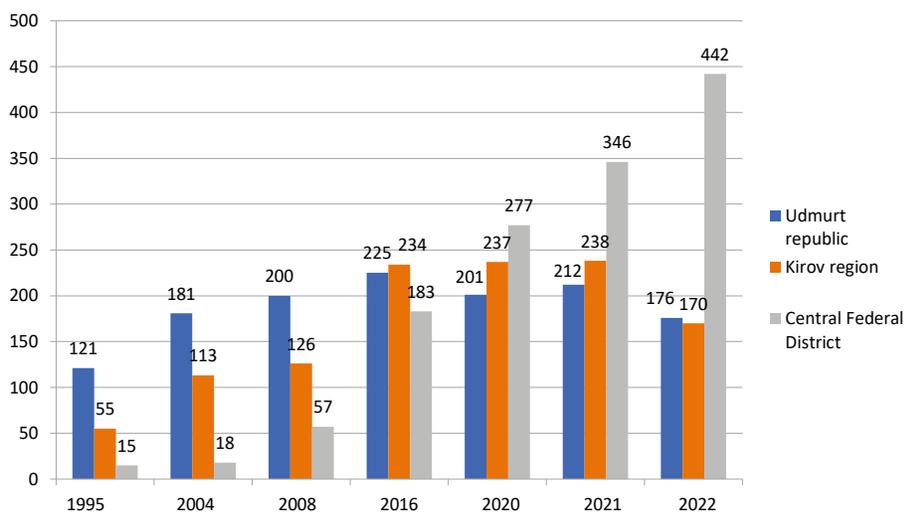
Динамика численности лошадей вятской породы является показателем общего состояния породы в целом. Основная масса племенного ядра породы рассредоточена в трех регионах России: Удмуртская Республика, Кировская область и ЦФО. Мониторинг количественного состава породы показал, что за период с 1995 по 2008 гг. наибольшее количество лошадей вятской породы наблюдалось в Удмуртской Республике. С 2020 г. лидером по количественному составу племенных лошадей становится центральный регион — 277 голов (рис.).

Следует отметить, что на протяжении трех лет в центральном регионе численность лошадей вятской породы была наибольшая.

Ведущим показателем состояния и развития породы является количество племенных конематок. Динамика численности вятских кобыл по годам представлена в табл. 1.



Динамика численности поголовья лошадей вятской породы, голов



Population of Vyatka horses in regions of Russia, heads

Таблица 1

Динамика численности племенных кобыл вятской породы по годам, голов

Регион	1995	2004	2008	2016	2020	2021	2022
Удмуртская Республика	42	80	103	93	106	106	78
Кировская область	25	49	53	78	72	73	72
Центральный регион	6	5	12	52	82	99	93
Всего племенных кобыл	73	134	168	225	288	287	250

Table 1

Number of Vyatka breeding mares by year, heads

Region	1995	2004	2008	2016	2020	2021	2022
Udmurt Republic	42	80	103	93	106	106	78
Kirov region	25	49	53	78	72	73	72
Central region	6	5	12	52	82	99	93
Total	73	134	168	225	288	287	250

Поголовье конематок в вятской породе ежегодно возрастало, но в 2021–2022 гг. последовало снижение количества племенных кобыл вследствие закрытия племенного репродуктора и сокращения маточного поголовья в ряде крупнейших хозяйств.

Следует отметить, что большинство кобыл на 01.09.2022 г. принадлежало сельскохозяйственным предприятиям — 165 голов. Наибольшее их количество отмечено в ЦФО — 81 голова, в т.ч. 57 голов являются собственностью сельскохозяйственных предприятий, в частности крупнейшего хозяйства в данном регионе — ООО «Вавилово» Липецкой области (табл. 2).

Таблица 2

Реестр владельцев племенных кобыл вятской породы по регионам, голов

Регион	Количество конематок, голов	В том числе	
		с/х предприятия	частные владельцы
Удмуртская Республика	68	37	31
Кировская область	72	70	2
Центральный регион	81	57	24
Итого	221	165	57

Table 2

Register of owners of Vyatka breeding mares by region, heads

Region	Number of mares, heads	Including	
		agricultural enterprises	private owners
Udmurt Republic	68	37	31
Kirov region	72	70	2
Central region	81	57	24
Total	221	165	57

Кировская область представлена 72 конематками. ОАО «Агрофирма «Гордино» — единственное на сегодняшний день генофондное хозяйство по разведению лошадей вятской породы в Российской Федерации. В Удмуртской Республике насчитывается 68 конематок, в т.ч. 37 — в сельскохозяйственных организациях.

В настоящее время в вятской породе насчитывается 80 племенных жеребцов, принадлежащих к 10-ти генеалогическим линиям (табл. 3).

Таблица 3

**Распределение действующих жеребцов-производителей
по регионам и линиям, голов**

Регионы \ Линии	Радиус	Добрнк	Буран-Собор	Знаток	Боб	Габизон	Бубенчик	Малахит	Воробей-Багульник	Кабур	Всего
Удмуртская Республика	3	6	3	10	4	3	2	3	–	–	34
Кировская область	2	–	–	1	3	–	–	–	–	–	6
Центральный регион	6	8	9	3	3	2	–	–	1	1	33
Итого	11	14	14	15	14	7	2	3	1	2	80

Table 3

Distribution of active breeding stallions by regions and lines, heads

Regions \ Lines	Radius	Dobrik	Buran-Sobor	Znatok	Bob	Gabizon	Bubenchik	Malakhit	Vorobey-Bagulnik	Kabur	Total
Udmurt Republic	3	6	3	10	4	3	2	3	–	1	35
Kirov region	3	–	–	1	5	–	–	–	–	–	9
Central region	6	8	9	3	3	2	–	–	1	1	33
Total	12	14	14	15	15	7	2	3	1	2	85

Удмуртская Республика и Центральный регион отличаются сравнительно большим поголовьем жеребцов-производителей, генеалогия породы в каждом из этих регионов представлена восемью линиями. В Кировской области насчитывается всего 6 вятских племенных жеребцов, принадлежащих к трем линиям.

Анализ общего поголовья лошадей, вошедших в обработку, показал, что несмотря на селекцию в условиях ограниченного генофонда, доля лошадей, полученных в результате аутбридинга, составляет 43,3 % (табл. 4).

Таблица 4

**Сравнительная оценка состояния генофонда
лошадей вятской породы по популяциям**

Регионы разведения	n	Аутбридинг, %	Коэффициент инбридинга		
			Отдаленный (0,2...1,55 %)	Умеренный (1,56...12,5 %)	Близкий (12,6...25 %)
Удмуртская Республика	166	30,7	43,4	24,1	1,80
Кировская область	74	62,1	14,9	20,3	2,70
Центральный регион	134	48,5	16,5	34,3	0,70
Итого	374	43,3	28,1	27,0	1,60

Table 4

Comparative assessment of the state of Vyatka breed gene pool by populations

Region	n	Outbreeding, %	Inbreeding coefficient		
			Remote (0.2...1.55 %)	Moderate (1.56...12.5 %)	Close (12.6...25 %)
Udmurt Republic	166	30.7	43.4	24.1	1.80
Kirov region	74	62.1	14.9	20.3	2.70
Central region	134	48.5	16.5	34.3	0.70
Total	374	43.3	28.1	27.0	1.60

Так в Кировской области 62,1 % представителей породы являются аутбредными, что значительно больше, чем в сравниваемых популяциях. В условиях ограниченного генофонда избежать инбридинга невозможно, однако для закрепления ценных признаков, а также повышения резистентности организма, данный метод является необходимым приемом в племенной работе. В равном соотношении получены представители вятской породы отдаленным и умеренным инбридингом 28,1 и 27 % соответственно. Следует отметить, что популяция Удмуртской селекции в основном состоит из лошадей, полученных при отдаленном инбридинге, на их долю приходится 43,4 %.

В вятской породе основными селекционируемыми признаками являются типичность и экстерьер. Сравнительная оценка между популяциями по типичности показала, что аутбредные лошади ЦФО имеют самый высокий балл 8,27, что больше, чем у лошадей вятской породы из Кировской популяции на 0,6 баллов ($P \geq 0,99$) (табл. 5).

Таблица 5

Сравнительная оценка селекционных признаков на фоне инбридинга у лошадей вятской породы разных популяций

Регион	Аутбридинг		Коэффициент инбридинга					
			Отдаленный (0,2...1,55 %)		Умеренный (1,56...12,5 %)		Близкий (12,6...25 %)	
	Типичность	Экстерьер	Типичность	Экстерьер	Типичность	Экстерьер	Типичность	Экстерьер
Удмуртская Республика	7,94 ± 0,17	8,08 ± 0,09	7,83 ± 0,09	8,01 ± 0,08	8,03 ± 0,18	8,01 ± 0,08	7,66 ± 0,03	7,00 ± 0,05
Кировская область	7,67 ± 0,11	7,82 ± 0,10	7,54 ± 0,15	8,09 ± 0,25	7,50 ± 0,19	8,08 ± 0,22	7,50 ± 0,01*	8,50 ± 0,02
Центральный регион	**8,27 ± 0,19	**8,45 ± 0,15	**8,01 ± 0,02	**8,75 ± 0,16	7,91 ± 0,28	8,50 ± 0,23	—	—

* $P \geq 0,95$; ** $P \geq 0,99$.

Response to inbreeding of Vyatka breeding traits of different horse populations

Regions	Outbreeding		Inbreeding coefficient					
			Remote (0.2...1.55 %)		Moderate (0.2...1.55 %)		Close (0.2...1.55 %)	
	Typicality	Exterior	Typicality	Exterior	Typicality	Exterior	Typicality	Exterior
Udmurt Republic	7.94 ± 0.17	8.08 ± 0.09	7.83 ± 0.09	8.01 ± 0.08	8.03 ± 0.18	8.01 ± 0.08	7.66 ± 0.03	7.00 ± 0.05
Kirov region	7.67 ± 0.11	7.82 ± 0.10	7.54 ± 0.15	8.09 ± 0.25	7.50 ± 0.19	8.08 ± 0.22	7.50 ± 0.01	8.50 ± 0.02
Central region	**8.27 ± 0.19	**8.45 ± 0.15	**8.01 ± 0.02	**8.75 ± 0.16	7.91 ± 0.28	8.50 ± 0.23	–	–

*P ≥ 0.95; **P ≥ 0.99.

Такая же закономерность прослеживается по экстерьерным признакам. Лошади центрального региона имеют на 0,63 балла выше по сравнению с Кировской популяцией (P ≥ 0,99). У лошадей Удмуртской популяции промежуточное значение. В группах отдаленного инбридинга лучшие баллы отмечены в популяции лошадей из центрального региона по сравнению с Кировскими представителями как по типичности, так и по экстерьерным признакам на 0,47 и 0,74 баллов соответственно (P ≥ 0,99). В группах умеренного и близкого инбридинга достоверных различий не выявлено.

Заключение

Основная масса племенного ядра породы рассредоточена в трех регионах России, увеличение численности поголовья лошадей происходило до 2021 г., в начале 2022 г. сократилось маточное поголовье. В настоящее время в вятской породе насчитывается 80 племенных жеребцов, принадлежащих к 10 генеалогическим линиям. Генетическая составляющая селекционного процесса в совершенствовании породы остается контролируемой при 43,3 % аутбредного состава всего проанализированного поголовья. Наиболее типичными с правильным экстерьером являются аутбредные лошади из популяции ЦФО.

Библиографический список

1. Столповский Ю.А., Лисичкина М.Г., Каштанов С.Н. Сохранение пород домашних животных ex situ // Биологические коллекции сегодня и завтра: материалы Российской конф. с международным участием «Передовые практики и перспективы использования зоологических коллекций», Москва, 15–16 октября 2018 года. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. С. 153–155.
2. Столповский Ю.А., Захаров-Гезехус И.А. Проблема сохранения генофондов domesticiрованных животных // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 4. С. 477–486. doi: 10.18699/VJ17.266
3. Басс С.П. Вятская порода лошадей как популяция с ограниченным генофондом // Аборигенные породы лошадей: их роль и место в коневодстве Российской Федерации: материалы I Всерос. науч.-практ.

конф. с междунар. участием, Ижевск, 16 февраля 2016 года. Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. С. 3–9.

4. Белоусова Н.Ф., Басс С.П., Киркин А.И. Мониторинг генеалогической структуры линий в вятской породе лошадей // *Коневодство и конный спорт*. 2022. № 1. С. 22–25.

5. Храброва Л.А., Блохина Н.В., Устьянцева А.В. Инбридинг и степень гомозиготности микросателлитных локусов у лошадей (*Equus caballus*) орловской рысистой породы // *Сельскохозяйственная биология*. 2014. № 4. С. 35–41.

6. Белоусова Н.Ф., Басс С.П. Мониторинг лучших результатов испытаний рабочих качеств вятских лошадей в упряжи // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 2(62). С. 3–9. doi: 10.48012/1817-5457_2020_2_3

7. Белоусова Н.Ф., Басс С.П., Зиновьева С.А. Итоги VI межрегиональной выставки «Золотая Вятка — 2021» как результат апробации методики испытаний работоспособности вятских лошадей // *Коневодство и конный спорт*. 2021. № 4. С. 28–30.

8. Вдовина Н.В., Юрьева И.Б. Инбридинг в мезенской породе лошадей // *Коневодство и конный спорт*. 2015. № 4. С. 13–15.

9. Недашковский И.С., Сермягин А.А., Богданова Т.В., Ермилов А.Н., Янчуков И.Н., Зиновьева Н.А. Оценка влияния уровня инбридинга на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинизированной популяции черно-пестрой породы // *Молочное и мясное скотоводство*. 2018. № 7. С. 17–22. doi: 10.25632/MMS.2018.7.21450

10. Зырянова С.В., Лапина М.Ю. Инбридинг, его влияние на хозяйственно-ценные признаки крупного рогатого скота ярославской породы // *Вестник Донского государственного аграрного университета*. 2019. № 4–1 (34). С. 37–44.

11. Юдин В.М. Роль родственного подбора в совершенствовании продуктивных и наследственных качеств крупного рогатого скота // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 1(57). С. 50–56.

12. Doekes H.P., Veerkamp R.F., Bijma P., de Jong G., Hiemstra S.J., Windig J.J. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle // *Genet. Sel. Evol.* 2019. No 51. P. 54. doi: 10.1186/s12711-019-0497-z11

13. Ткачёв А.В., Ткачёва О.Л., Россоха В.И. Ассоциированность эритроцитарных антигенов с характеристиками спермы жеребцов после криоконсервирования // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 4. С. 735–742. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.735rus

14. Ткачёв А.В., Ткачёва О.Л., Россоха В.И. Цитогенетический статус кобыл (*Equus caballus*) украинской верховой породы в связи с оплодотворемостью // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 2. С. 302–308. doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.302rus

15. Россоха В.И., Ткачёва О.Л. Влияние общей хромосомной нестабильности и полноценности полового цикла кобыл на выход жеребят // *Научно-технический бюллетень Института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины*. 2017. № 117. С. 132–136.

References

1. Stolpovsky YA, Lisichkina MG, Kashtanov SN. Preservation of breeds of domestic animals ex situ. *Biological collections today and tomorrow: Materials of the Russian conference with international participation «Best practices and prospects for the use of zoological collections*. Moscow; 2018. p.153–155. (In Russ.).

2. Stolpovskiy YA, Zakharov-Gezekhus IA. The problem of conservation of gene pools of domesticated animals. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(4):477–486. (In Russ.). doi: 10.18699/VJ17.266

3. Bass SP. Vyatka horse breed as a population with a limited gene pool. *Aboriginal horse breeds: their role and place in horse breeding of the Russian Federation: Materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Izhevsk; 2016. p.3–9. (In Russ.).

4. Belousova NF, Bass SP, Kirkin AI. Monitoring of the genealogical structure of lines in Vyatka horse breed. *Konevodstvo i konny sport*. 2022;(1):22–25. (In Russ.).

5. Khrabrova LA, Blokhina NV, Ustyantseva AV. Inbreeding and homozygosity in Orlov trotter breed. *Agricultural biology*. 2014;49(4):35–41. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiology.2014.4.35rus

6. Belousova NF, Bass SP. Monitoring the best results of Vyatka horses' working qualities testing in harness. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2020;(2):3–9. (In Russ.). doi: 10.48012/1817-5457_2020_2_3

7. Belousova NF, Bass SP, Zinovieva SA. The results of the VI interregional exhibition «Golden Vyatka-2021», as a result of the approbation of the methodology for testing the performance of Vyatka horses. *Konevodstvo i konny sport*. 2021;(4):28–30. (In Russ.). doi: 10.25727/HS.2021.4.60734
8. Vdovina NV, Yuryeva IB. Inbreeding in Mezenskaya horse breed. *Konevodstvo i konny sport*. 2015;(4):13–15. (In Russ.).
9. Nedashkovsky IS, Sermyagin AA, Bogdanova TV, Ermilov AN, Yanchukov IN, Zinovieva NA. Evaluation of inbreeding effect for milk production and fertility traits black-and-white cattle improved by Holstein breed. *Journal of dairy and beef cattle breeding*. 2018;(7):17–22. (In Russ.).
10. Zyryanova SV, Lapina MY. Inbreeding, its influence on the economically valuable characteristics of Yaroslavl breed. *The Bulletin Donskoy state agrarian university*. 2019;(4–1):37–44. (In Russ.).
11. Yudin VM. The importance of the sibling selection in the improvement of productive and genetic qualities of the cattle. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2019;(1):50–56. (In Russ.).
12. Doekes HP, Veerkamp RF, Bijma P, de Jong G, Hiemstra SJ, Windig JJ. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle. *Genetics Selection Evolution*. 2019;51:54. doi: 10.1186/s12711-019-0497-z
13. Tkachev AV, Tkacheva OL, Rossokha VI. Associated connection of erythrocytic antigens with characteristics of stallion semen after cryoconservation. *Agricultural biology*. 2018;53(4):735–742. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiol.2018.4.735rus
14. Tkachev AV, Tkacheva OL, Rossokha VI. Cytogenetic status of mares (*Equus caballus*) of Ukrainian riding breed influences their fertility. *Agricultural biology*. 2018;53(2):302–308. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiol.2018.2.302rus
15. Rossokha VI, Tkacheva OL. The influence of general chromosomal instability and the full value of the sexual cycle of mares on the output of foals. *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Animal Science of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine*. 2017;(117):132–136. (In Russ.).

Об авторах:

Басс Светлана Петровна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, Удмуртский государственный аграрный университет, 426069, Российская Федерация, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11; e-mail: sveta.bass@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-3979-1279
SPIN-код: 9931–9891

Белюсова Наталья Феликсовна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, 391105, Российская Федерация, Рязанская область, Рыбновский район, поселок Дивово, д. 20; e-mail: natfb@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-0515-0123
SPIN-код: 3579–3225

Азимова Глафира Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных, Удмуртский государственный аграрный университет, 426069, Российская Федерация, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11; e-mail: Glavira2009@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-7300-414X
SPIN-код: 1309–8807

Гуляева Анна Николаевна — аспирант кафедры кормления и разведения сельскохозяйственных животных Удмуртский государственный аграрный университет, 426069, Российская Федерация, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11; e-mail: santermnebrat@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0725-8800
SPIN-код: 4413–2632

About authors:

Bass Svetlana Petrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Feeding and Breeding of Agricultural Animals, Udmurt State Agricultural University, 11 Studencheskaya st., Izhevsk, Udmurt Republic, 426069, Russian Federation; e-mail: sveta.bass@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-3979-1279, SPIN-code: 9931–9891

Belousova Natalya Feliksovna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Russian Research Institute of Horse Breeding, 20 Divovo vil., Rybnovsky district, Ryazan region, 391105, Russian Federation; e-mail: natfb@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-0515-0123, SPIN-code: 3579–3225

Azimova Glafira Vladimirovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Feeding and Breeding of Agricultural Animals, Udmurt State Agricultural University, 11 Studencheskaya st., Izhevsk, Udmurt Republic, 426069, Russian Federation; e-mail: Glavira2009@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7300-414X, SPIN-code: 1309–8807

Gulyaeva Anna Nikolaevna — Post-graduate student, Department of Feeding and Breeding of Agricultural Animals, Udmurt State Agricultural University, 11 Studencheskaya st., Izhevsk, Udmurt Republic, 426069, Russian Federation; e-mail: santermnebrat@gmail.com

ORCID: 0000–0002–0725–8800, SPIN-code: 4413–2632



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-92-104

EDN WRWTUR

УДК 636.57: 636.5.033: 637.5.04/.07

Научная статья / Research article

Морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса «Смена 9» при различных способах выращивания

К.М. Кондрашкина  , Д.В. Никитченко , В.Е. Никитченко 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

 skm9710@yahoo.com

Аннотация. У курочек нового кросса «Смена 9» в 1-, 35-, 42-, 49- и 56-суточном возрасте изучали динамику живой массы, морфологию тушек и их морфометрические показатели, а также химический состав мышц при клеточном (группа 1) и напольно-выгульном выращивании (группа 2). Использовали классические методы исследования. Курочек содержали в одинаковых условиях. Установили, что курочки в раннем возрасте обладают высокой скоростью роста. Живая масса курочки группы 1 к 56-суточному возрасту составила 3438 г, что меньше, чем в группе 2, на 2,69 %, а масса тушек — на 2,89 % меньше ($P < 0,05$). В тушках бройлеров группы 2 содержание мышечной ткани больше на 3,14 % ($P > 0,05$), но жира меньше на 0,22 %, костей меньше на 0,09 %. По сравнению с суточными цыплятами у 56-суточных бройлеров повысилась относительная масса: мышечной ткани в группе 1 на 13,04 %, в группе 2 — на 13,27 %, жира — на 4,02 и 3,80 % соответственно, в то время как относительная масса костей снизилась на 16,25 (группа 1) и 16,34 % (группа 2). Напольно-выгульное содержание курочек не уступает по показателям продуктивности мяса клеточному содержанию. При этом ветеринарно-санитарные показатели отличаются по качеству мяса.

Ключевые слова: клеточное содержание, напольно-выгульное содержание, бройлеры, морфология, мышечные волокна, химический состав мышц, микробиология мяса, качество мяса

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

История статьи: поступила в редакцию 9 января 2023 г., принята к публикации 10 февраля 2023 г.

Для цитирования: Кондрашкина К.М., Никитченко Д.В., Никитченко В.Е. Морфометрические и химические показатели тушек курочек кросса «Смена 9» при различных способах выращивания // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 92—104. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-92-104

© Кондрашкина К.М., Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., 2023



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

Morphometric and chemical parameters of hen carcasses of ‘Smena 9’ cross raised under different conditions

Ksenia M. Kondrashkina  , Dmitry V. Nikitchenko 
Vladimir E. Nikitchenko 

Peoples’ Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation
*skm9710@yahoo.com

Abstract. Changes in live weight, morphology of carcasses, their morphometric parameters, chemical composition of muscles during cage rising (group 1) and ground-grazing raising (group 2) were studied in hens (‘Smena 9’ cross) at the age of 1, 35, 42, 49 and 56 days. Generally accepted research methods were used. The hens were raised under the same conditions. The experiments revealed that chickens had a high growth rate at an early age. At 56-day age, live weight of hen from group 1 was 3438 g, which was 2.69 % less than in group 2, and carcass weight was 2.89 % less ($P < 0.05$). In carcasses of broilers from group 2, weight of muscle tissue was 3.14 % more ($P > 0.05$), however, fat and bones were less by 0.22 and 0.09 %, respectively. Compared to 1-day-old chickens, 56-day-old broilers had increased relative weight: muscle tissue in group 1 and group 2 — by 13.04 and 13.27 %, respectively; fat — by 4.02 and 3.80 %, respectively; while relative bone weight decreased by 16.25 and 16.34 % in group 1 and group 2, respectively. Ground-grazing raising of chickens is not inferior in meat productivity to cage rising. At the same time, veterinary and sanitary indicators differ in the quality of meat.

Key words: cage rising, ground-grazing rising, broilers, morphology, muscle fibers, chemical composition of muscles, meat microbiology, meat quality

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

Article history: Received: 9 January 2023. Accepted: 10 February 2023.

For citation: Kondrashkina KM, Nikitchenko DV, Nikitchenko VE. Morphometric and chemical parameters of hen carcasses of ‘Smena 9’ cross raised under different conditions. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):92—104. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-92-104

Введение

В результате селекционной работы выведен новый кросс «Смена 9», у которого срок убоя составляет уже 35 суток [1]. В настоящее время промышленные птицеводческие предприятия в основном практикуют клеточную и напольную технологии выращивания бройлеров [2, 3]. Но какая из этих двух технологий является более эффективной, однозначного ответа нет. Например, в Европейском союзе клеточное содержание запрещено, так как считается, что эта технология не удовлетворяет физиологическим потребностям птицы. В зарубежных странах основным способом выращивания бройлеров является напольное содержание [4]. При промышленном выращивании в клетках птицы содержатся скученно, что вызывает в организме птицы стресс, приводит к нарушению процессов обмена веществ, дистрофии, PSE порокам, миопатиям [5–7].

Технология выгульного содержания бройлеров вызывает интерес как со стороны производителей, заинтересованных в улучшении качества мяса, так и у потребителей, которые отдают предпочтение фермерской продукции, а не промышленной. Изучению этого вопроса посвящены работы на фермерских хозяйствах как в России, так и за рубежом [8, 9]. Однако, с точки зрения производителей, клеточное содержание бройлеров экономически выгоднее, так как при этом способе выращивания выход мяса с единицы производственной площади выше, чем при напольном выращивании. За один производственный цикл при использовании клеточного способа выращивания можно получить 92,8...104,5 кг мяса, тогда как при напольном — 37,2...39,4 кг [10, 11].

Цыплята современных кроссов имеют более высокую продуктивность, но обладают меньшей приспособленностью и повышенной чувствительностью к условиям микроклимата [12]. В настоящее время в нашей стране чаще всего используются кроссы «Росс 308», «Кобб 500» и отечественные кроссы «Смена 8», «Смена 9», обладающие высокой мясной продуктивностью. Остается открытым вопрос о рациональном сроке выращивания и плотности посадки при клеточном и напольном выращивании. Установлено, что продление сроков выращивания в клеточных батареях негативно влияет на среднюю живую массу цыплят и практический выход продукции ниже теоретического продуктивного потенциала, как в клетках, так и на полу. Затраты корма на 1 кг прироста живой массы выше при клеточном содержании птицы [13].

Для получения порционных тушек используются цыплята с живой массой 1,5...1,6 кг, стандартных тушек — живой массой 2,0...2,2 кг, тяжелых тушек — массой 2,4...2,5 кг. Нормативы плотности посадки цыплят для получения порционного типа составляют — 20...24 гол/м², стандартных — 14...19 гол/м², тяжелых — 9...13 м²/ гол. При коротких сроках откорма цыплят продолжительностью до 32 дней получают порционные тушки, при более продолжительном откорме — до 56...63 суток — тяжелые тушки [14].

За рубежом большое распространение в условиях малых фермерских хозяйств получила технология свободно-выгульно-напольного содержания [15]. Главные изучаемые факторы влияния на физиологическое и продуктивное состояние птицы: сроки откорма и плотность посадки мясных цыплят при выгульном содержании. Результаты исследований в хозяйствах с выгульным содержанием бройлеров свидетельствуют о том, что увеличение срока выращивания птицы благоприятно сказывается на продуктивных показателях птицы, увеличивается выход грудных мышц, качество мяса также повышается [16–18]. У цыплят кросса «Росс 308» при выгульном содержании диаметр мышечных волокон увеличивается и мясо становится более упругим по сравнению с цыплятами, выращенными традиционным промышленным способом [19, 20]. В другом исследовании изучали влияние систем выращивания на мясные качества медленно растущих цыплят. У цыплят с доступом на выгульные площадки в грудных и ножных мышцах был более высокий уровень омега-3 полиненасыщенных жирных кислот и более низкий уровень насыщенных жирных кислот по сравнению с цыплятами, содержащимися без выгула [21]. Об-

наружено, что у медленнорастущих цыплят, выращенных на открытом воздухе, содержание белка в глубокой грудной мышце составило 24,83 %, абдоминального жира меньше на 2 %, выход грудных мышц и бедер больше на 3 %, чем у птиц, выращенных без выгула [22].

Качественные показатели мяса и товарный вид тушек бройлеров зависят от генотипа кур. Бройлеры медленнорастущих кроссов с цветным оперением наиболее благоприятно растут в условиях выгульного содержания и способны в большей степени реализовывать свой продуктивный потенциал по сравнению с быстрорастущими промышленными кроссами [23].

Таким образом, в последнее время более предпочтительным становится напольно-выгульное выращивание птицы, так как в первую очередь растет спрос потребителей на более качественное мясо и на птиц, выращенных на открытом воздухе в фермерских хозяйствах. В этой связи необходимо провести сравнение между традиционными технологиями выращивания и выгульной системой содержания птицы, а также изучить продуктивные и качественные показатели мяса у цыплят современных отечественных быстрорастущих и медленнорастущих кроссов в условиях выгульной технологии содержания.

Цель исследования — изучить динамику живой массы курочек, морфологию и морфометрические показатели тушек, а также химический состав мышц нового кросса «Смена 9» при клеточном и напольно-выгульном выращивании.

Материал и методы исследований

Работа выполнена в департаменте ветеринарной медицины Российского университета дружбы народов (РУДН) и в крестьянском (фермерском) хозяйстве Н.В. Литвинова, Московская область. Опыты проводили на 2 группах (по 70 голов в каждой) кросса «Смена 9», выведенных из одной партии яиц. Цыплят группы 1 выращивали в клетках собственной конструкции по 18 гол./м² (использовали подстилку из мягких древесных опилок), цыплят группы 2 выращивали на полу по 12 гол./м² на выгульной площадке 3 м²/гол. Курочек и петушков выращивали вместе до 56-суточного возраста. Для опыта цыплят отбирали индивидуально, взвешивали и распределяли по группам методом случайной выборки. Плотность посадки, фронт поения и кормления, нормы кормления, температурный, влажностный и световой режимы для обеих групп были одинаковыми и во все возрастные периоды соответствовали рекомендациям ВНИТИП [1].

Птица имела свободный доступ к корму (без антибиотиков). Рационы скармливали по этапам: Старт — 0–10-е сутки, Рост — 11–22-е сутки, Финиш-1–23–39-е сутки, Финиш-2–40–56-е сутки. Птице с напольно-выгульным содержанием дополнительно к рациону скармливали зеленую массу из разнотравья.

Динамику живой массы, морфологические показатели тушек определяли в следующих возрастах: 1, 35, 42, 49 и 56 дней. 1-дневные цыплята служили исходным материалом для обработки данных.

Курочек всех возрастных групп подвергали убою по 3 головы. В 35-, 42-, 49- и 56-дневных возрастах убой осуществляли на конвейерной линии убойного цеха СГЦ «Загорское ЭПХ» согласно принятой технологии. Полученные тушки помещали в холодильник (0...+4 °С) на 24 ч. Затем в лаборатории департамента ветеринарной медицины РУДН их взвешивали и препарировали. Выделяли мышцы, жир, кости и другие ткани (кожа с остатками жира, остатки легких и почек) и взвешивали на электрических весах ВЛКТ-500М (ГОСТ 241-04–2001) с точностью до 1 г (1-дневных до 0,1 г).

Гистологические исследования мышц проводили по ГОСТ 19496–2013¹; химические исследования: воды — по ГОСТ 9793–2016², жира — по ГОСТ 23042–2015³, белка — ГОСТ 25011–2017⁴; микробиологические исследования мяса — по методикам, описанным в ГОСТ Р 50396.1–2010⁵, ГОСТ 31468–2012⁶, ГОСТ 32031–2012⁷.

Статистическая обработка полученных данных выполнялась в программе Excel. Достоверность различий устанавливали по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследований и обсуждение

Сохранность поголовья курочек в период выращивания при клеточном содержании составила 96,89 %, с выгулом — 98,10 %, затраты корма на 1 кг прироста живой массы — 2,19 и 2,17.

Данные по динамике живой массы и массе потрошенных тушек приведены в табл. 1. Среднесуточные приросты живой массы от суточного до 35-суточного возраста клеточного содержания (группа 1) составили 58,17 г, напольно-выгульного (группа 2) — 55,54 г, с 36-х по 42-е сутки — 70,57 и 80,14 г, с 43-х по 49-е — 66,0 и 78,53 г, с 50-х по 56-е — 57,57 и 62,71 г, за весь период выращивания курочек — 60,625 и 62,375 г соответственно. Кратность увеличения живой массы у 56-суточных курочек по сравнению с суточными группы 1 составила 80,88; группы 2 — 82,23 раза.

Таблица 1

Динамика живой массы, массы тушек и относительная масса тканей тушек (по n = 4 в каждой группе)

Показатели	Возраст, суток				
	1	35	42	49	56
Клеточное выращивание (группа 1)					
Живая масса, г	43,0 ± 0,5	2079 ± 27,2	2573 ± 34,6	3035 ± 40,4	3438 ± 49,8
Масса потрошеной тушки, г	16,81 ± 0,25	1500 ± 21,6	1897 ± 28,5	2255 ± 37,9	2560 ± 45,7

¹ ГОСТ 19496–2013. Мясо и мясные продукты. Метод гистологического исследования.

² ГОСТ 9793–2016. Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги.

³ ГОСТ 23042–2015. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира.

⁴ ГОСТ 25011–2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка.

⁵ ГОСТ Р 50396.1–2010. Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Метод определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов.

⁶ ГОСТ 31468–2012. Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Метод выявления сальмонелл.

⁷ ГОСТ 32031–2012. Продукты пищевые. Методы выявления бактерий *Listeria Monocytogenes*.

Показатели	Возраст, суток				
	1	35	42	49	56
Относительная масса, % от массы тушки					
Масса мышц тушки	53,13	64,07	65,42	66,03	66,17
Масса жира	—	1,60	2,16	3,06	4,02
Масса других тканей тушки	14,22	12,27	13,18	13,35	13,40
Масса костей тушки	32,66	22,07	19,24	17,56	16,41
Напольно-выгульное выращивание (группа 2)					
Живая масса курочки	43,0 ± 0,5	1987 ± 26,4	2548 ± 37,6	3097 ± 46,5	3536 ± 58,7
Масса потрошеной тушки	16,81 ± 0,25	1434 ± 17,4	1878 ± 26,2	2300 ± 33,6	2634 ± 41,7
Относительная масса, % от массы тушки					
Масса мышц тушки	53,13	64,02	65,50	66,22	66,40
Масса жира	—	1,32	1,97	2,68	3,80
Масса других тканей тушки	14,22	12,55	13,26	13,52	13,47
Масса костей тушки	32,66	22,11	19,28	17,57	16,32

Table 1

Dynamics of live weight, carcass weight and relative carcass tissue weight (n = 4 for each group)

Indicator	Age, days				
	1	35	42	49	56
Cage rising (group 1)					
Live weight, g	43.0 ± 0.5	2079 ± 27.2	2573 ± 34.6	3035 ± 40.4	3438 ± 49.8
Weight of gutted carcass, g	16.81 ± 0.25	1500 ± 21.6	1897 ± 28.5	2255 ± 37.9	2560 ± 45.7
Relative weight, % of carcass weight					
Muscles	53.13	64.07	65.42	66.03	66.17
Fat	—	1.60	2.16	3.06	4.02
Other tissues	14.22	12.27	13.18	13.35	13.40
Bones	32.66	22.07	19.24	17.56	16.41
Ground-grazing rising (group 2)					
Live weight, g	43.0 ± 0.5	1987 ± 26.4	2548 ± 37.6	3097 ± 46.5	3536 ± 58.7
Weight of gutted carcass, g	16.81 ± 0.25	1434 ± 17.4	1878 ± 26.2	2300 ± 33.6	2634 ± 41.7
Relative weight, % of carcass weight					
Muscles	53.13	64.02	65.50	66.22	66.40
Fat	—	1.32	1.97	2.68	3.80
Other tissues	14.22	12.55	13.26	13.52	13.47
Bones	32.66	22.11	19.28	17.57	16.32

Живая масса курочек клеточного содержания 42-суточного возраста составила 2573, с 42- до 56-суточного возраста — увеличилась на 865 г. Масса курочек выгульного содержания достигла к 42 дням — 2548 г, к 56-суточному возрасту — увеличилась на 988 г.

Выход тушек 42- и 56-суточных курочек группы 1 составил 73,73 и 74,46, группы 2 — 73,70 и 74,49 %.

Среднесуточный прирост тушек курочек клеточного содержания с 1- до 42-суточного возраста составил 44,77 г, с 42- до 56-суточного — 47,36 г, курочек напольно-выгульного содержания — 44,31 и 54,0 г. За весь период выращивания курочек группы 1 — 45,41 г, группы 2 — 46,74 г. К 56-суточному возрасту масса тушек курочек группы 1 по сравнению суточными увеличилась в 152,29 раза, группы 2 — в 156,69 раза.

При анализе данных табл. 1 видно, что в тушках курочек группы 1 всех возрастов больше всего содержится мышечной ткани: от 53,13 (суточные) до 66,17 % (56-суточные) и группы 2 — 66,40 %. К 42-суточному возрасту у курочек клеточного содержания масса мышц тушки увеличилась по сравнению с массой мышц суточных в 138,97, у 56-суточных — в 189,70 раза, курочек напольно-выгульного содержания — в 137,74 и 195,86 раза соответственно.

Среднесуточный прирост мышечной ткани курочек группы 1 к 42-суточному возрасту составил 29,34 г, в то время как у группы 2 — 29,07, т.е. меньше на 0,27 г, но с 42-суточного возраста по 56-суточный у группы 1 прирост равнялся 32,36 г, группы 2 — 37,07 г, т.е. больше на 4,71 г.

Относительная масса мышечной ткани с каждым возрастным периодом увеличивалась, особенно с 1- до 42-суточного возраста на 12,29...12,37 %.

Затем среднесуточные приросты мышечной ткани у курочек группы 1 с 42- до 56-суточного возраста снизились до 32,36 г, но относительная масса ее повысилась на 0,42 % из-за большей скорости роста по сравнению с другими тканями. У курочек группы 2 среднесуточные приросты мышц в этот период составили 43,25 г, что повлекло к повышению относительной массы на 0,9 %, или по разнице с показателем курочек клеточного содержания на 0,48 %.

Что касается жировой ткани как энергетического запаса в организме птицы, то его количество (вместе с абдоминальным жиром) в тушках курочек 42-суточного возраста составляет 2,16...1,97 %, 56-суточного — 4,02...3,80 %. В тушках курочек клеточного выращивания жира содержится больше на 0,19...0,22 %, чем в тушках напольно-выгульного (по разнице). С биологической точки зрения низкое содержание жира ведет к уменьшению количества витаминов, непредельных жирных кислот, при этом аромат и вкус мяса слабее.

Согласно табл. 1 среднесуточный прирост костей курочек клеточного содержания с суточного до 42-суточного возраста составил 8,56 г, с 42- до 56-суточного — 3,93 г, за весь период выращивания — 7,40 г, у курочек напольно-выгульного содержания — 8,49, 4,86 и 7,58 г соответственно. Однако относительная масса костей с каждым возрастным периодом уменьшалась, особенно значительно у курочек обеих групп с 1- до 35-суточного возраста — на 10,59...10,55 % и с 35 до 56 суток — на 5,66...5,79 %.

Снижение относительной массы костей у курочек в постэмбриональный период связано с тем, что скорость их роста по сравнению с другими тканями в эмбриональный период была очень высокая (до 32,66 % в тушках, так как формировался каркас организма), в то время как с 1- до 56-суточного возраста происходит относительное снижение массы костей на 16,25...16,34 %.

Количество абсолютной массы костей в тушках курочек группы 1 с 42-суточного возраста по сравнению с суточными увеличилось в 66,48 раза, у 56-суточных — в 76,50 раза, у группы 2 — в 65,93 и 78,32 раза соответственно. Соотношение мышцы: кости в тушках курочек группы 1 в 42 дня равнялось 3,40, в 56 дней — 4,07, группы 2 — 3,41 и 4,01 соответственно.

Анализ динамики роста других тканей (кожа с остатками жира, остатки легких и почек) показывает, что их абсолютная масса с каждым возрастным периодом увеличивается с 2,39 до 355...390 г, а относительная масса снижается с 14,22 до 13,47...13,23 %.

Гистологические исследования мышц проводили с целью установления изменений диаметра мышечных волокон как показателя нарастания мышечной массы бройлеров. Установлено, что увеличение диаметра мышечных волокон в разные возрастные периоды птицы очень вариабельны. При вылуплении цыпленка диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы составляет 8,41 мкм, к 35-суточному возрасту диаметр у курочек клеточного содержания увеличивается на 40,04 мкм, напольно-выгульного — на 39,13 мкм, или ежедневно на 1,11 и 1,12 мкм соответственно. В дальнейшем с 35-суточного до 42-суточного возраста среднесуточный прирост диаметра мышечных волокон у курочек группы 1 снижается до 0,91 мкм, в то время как у группы 2 до 0,95 мкм. С 42- до 49-суточного возраста прирост падает до 0,76 и 0,79 мкм, а к 56-суточному — до 0,57 и 0,58 мкм соответственно. За период от 42- до 56-суточного возраста у курочек клеточного содержания диаметр мышечного волокна увеличивается на 7,97 мкм, у напольно-выгульного — на 9,59 мкм.

За весь период выращивания курочек группы 1 прирост диаметра мышечного волокна составил 54,34 мкм, группы 2 — 55,37 мкм. По сравнению с суточными курочками у 56-суточных клеточного содержания диаметр мышечных волокон увеличился в 7,46 раза, напольно-выгульного — в 7,58 раза, в то время как живая масса — в 80,88 и 83,40 раза соответственно. Следовательно, масса мышечной ткани увеличивается не только за счет увеличения диаметра мышечных волокон, но и за счет их удлинения.

Анатомическую разделку тушек курочек при клеточном выращивании не проводили, так как по массе они близки с показателями напольно-выгульного содержания (в 42-суточном разница составляла 19 г, 56-суточном — 74 г). Различия при разрубке тушек по анатомическим частям получились недостоверными.

Результаты исследований показывают, что наибольший выход в тушках 42-суточного возраста составляет грудка 35,62 %, 56-суточном — 36,20 %. К 56-суточному возрасту у курочек по сравнению с 42-суточными тушками абсолютная масса увеличилась на 285 г, или на 29,87 %. Далее по относительной массе следует каркас (20,13...19,97 %), бедро (17,20...16,67 %), голень (14,22...13,55 %), крыло (10,86...9,91 %). С возрастом курочек (с 42 до 56 суток) и увеличением массы тушек увеличивается выход грудки на 0,58 %, в то время как выход остальных частей тушки уменьшается: бедра — на 0,55 %, голени — на 0,68, крыла — 0,93 %, каркаса — 0,16 %.

При анализе анатомических частей тушек видно, что больше всего мышечной ткани содержится в грудке, ее относительная масса (от массы тушки) у 42-суточных курочек составляет 30,30 %, 56-суточных — 31,03 %, т.е. увеличивается на 0,07 %, в то время как относительная масса костей уменьшается на 0,20 % (по разнице). Относительная масса мышц бедренной части остается на прежнем уровне, кожи с остатками жира увеличивается на 0,23 %, костей уменьшается — 0,60 %; относительная масса мышц голени уменьшается на 0,30 %, костей — 0,51 %, крыла — 0,16 и 0,85 %, кожи с остатками жира увеличивается на 0,14 и 0,05 % соответственно. Анализ carcаса тушки показывает, что его относительная масса мышц с увеличением массы тушки увеличивается (за счет мышц плечевого пояса, отходящих при разрубке на части) на 0,61 %, тогда как относительная масса костей уменьшается на 0,59 %.

Результаты исследований показали, что тушки и отдельные анатомические части содержат разное соотношение тканей, что и определяет их качество, поэтому потребительская цена их разная.

Исследования химического состава мяса птицы разных кроссов и способов выращивания, возраста, пола, которые дают возможность получить представление о качестве мяса. В данной работе химическому анализу подвергли поверхностную грудную мышцу как наиболее крупную мышцу в тушке, реализуемую чаще в виде полуфабриката (табл. 2).

Таблица 2

**Химические показатели поверхностных грудных мышц
бройлерных курочек кросса «Смена 9»**

Возраст, дни	Способ выращивания	Содержание, %			Общий жир тушки, %
		Вода	Жир	Белок	
1	Вылупившиеся	80,51	0,56	17,10	—
42	Клеточный	74,96	1,12	22,74	2,16
42	Напольно-выгульный	75,12	1,15	22,85	1,97
49	Клеточный	74,50	1,20	23,23	3,06
49	Напольно-выгульный	74,57	1,23	23,30	2,68
56	Клеточный	73,75	1,24	23,84	4,02
56	Напольно-выгульный	73,84	1,26	23,97	3,80

Table 2

Chemical parameters of superficial pectoral muscles of broiler hens ('Smena 9' cross)

Age, days	Raising method	Content, %			Total carcass fat, %
		Water	Fat	Protein	
1	Hatched	80.51	0.56	17.10	—
42	Cage raising	74.96	1.12	22.74	2.16
42	Ground-grazing raising	75.12	1.15	22.85	1.97
49	Cage raising	74.50	1.20	23.23	3.06
49	Ground-grazing raising	74.57	1.23	23.30	2.68
56	Cage raising	73.75	1.24	23.84	4.02
56	Ground-grazing raising	73.84	1.26	23.97	3.80

Результаты химических исследований показывают, что в мышцах больше всего содержится воды. В мышцах суточных цыплят содержание влаги составляет 8,51 %, у бройлеров клеточного выращивания в 42 дня — 74,96 %, в конце откорма (56 суток) — 73,75 %, у курочек напольно-выгульного выращивания — 75,12 и 73,75 %. С возрастом курочек количество воды в мышцах уменьшается на 7,76 и 6,67 %.

Если с возрастом количество воды в мышцах курочек клеточного выращивания уменьшилось, то содержание внутримышечного жира увеличилось с 0,56 % (суточные) до 1,12 % (42 суток) и 1,24 % (56 суток), у курочек напольно-выгульного с 0,56 до 1,15 и 1,26 % соответственно ($P < 0,01$). Содержание белка в мышцах за этот же период повысилось в группе 1 бройлеров с 17,10 до 22,74 и 23,84 %, во группе 2 — до 22,85 и 23,97 % соответственно.

Следует отметить, что результаты химических исследований мышц курочек клеточного выращивания отличались по показателям от мышц курочек напольно-выгульного по влаге и жиру на 0,14...0,13 %, различия оказались статистически недостоверными. Таким образом, из анализа данных химического состава мышц следует, что с увеличением возраста курочек количество жира и белка увеличивается, в то время как содержание воды уменьшается.

Заключение

В результате исследований установлено, что продленный срок выращивания бройлеров с использованием напольно-выгульного выращивания (группа 2) до 56 суток позволяет получать курочек живой массой 3536 г, что больше на 2,69 %, массой тушек — на 2,89 %, чем при клеточном выращивании (группа 1) ($P < 0,05$). Среднесуточный прирост живой массы курочек до 42-суточного возраста при клеточном выращивании выше, чем при напольно-выгульной (60,24 против 59,64 г), но до 56-суточного, наоборот, снижается до 61,78 против 70,57 г. В тушках бройлеров группы 1 содержание мышечной ткани больше на 3,14 % ($P > 0,05$), но жира меньше на 0,22 % и костей меньше на 0,09 % ($P < 0,05$).

По сравнению с суточными цыплятами у 56-суточных бройлеров группы 1 относительная масса мышечной ткани повысилась на 13,04 %, у группы 2 — на 13,27 %, жира — на 4,02 и 3,80 %, в то время как костей снизилась на 16,25 и 16,34 % соответственно. Диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы у 56-суточных курочек по сравнению суточными в среднем в обеих группах увеличился 5,28 раза, в то время как живая масса курочек увеличилась в 81,09 раз. Это подтверждает то, что увеличение живой массы происходит не только за счет увеличения диаметра мышечных волокон, но и за счет их роста в длину. С возрастом курочек в поверхностной грудной мышце химические показатели в пределах одной возрастной группы при разных способах выращивания колеблются по влаге в пределах 0,16...0,10 %, по белку — 0,10...0,13 %. Разница между показателями у курочек одного возраста разных групп недостоверна. С возрастом птицы (с 42- до 56-суточного) количество воды снижается с 75,12 до 73,84 %, а внутримышеч-

ного жира повышается с 1,12 до 1,26 %, белка — с 22,74 до 23,97 %, т.е. качество мяса улучшается.

Необходимо отметить, что при гистологическом исследовании поверхностной грудной мышцы у некоторых курочек разных возрастов были обнаружены дистрофии разной степени тяжести, PSE-пороки и миопатии, что будет предметом следующей публикации.

Библиографический список

1. Руководство по работе с птицей мясного кросса «Смена 9 с аутоксексной материнской родительской формой / Д.Н. Ефимов, А.В. Егорова, Ж.В. Емануйлова и др.; под общ. ред. В.И. Фисинина. Сергиев Посад, 2021. С. 95.
2. Загорская В. Бройлер: на полу или клетке // Птицепром. 2017. № 1(35). С. 9–15.
3. Лукашенко В.С., Овсейчик Е.А., Комаров А.А. Мясные качества цыплят-бройлеров при различных технологиях выращивания // Птицеводство. 2020. № 3. С. 40–43.
4. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или научных исследованиях. ETS № 123. Страсбург, 1986.
5. Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Кондрашкина К.М., Панахова С.О., Переплетчикова М.С. Миопатии цыплят-бройлеров в промышленном птицеводстве (обзор) // Птица и птицепродукты. 2022. № 3. С. 60–64. doi: 10.30975/2073-4999-2022-24-3-60-64
6. Серегин И.Г., Баранович Е.С., Никитченко В.Е., Никитченко Д.В., Козак Ю.А. Изменения в мясе бройлеров и свиней с признаками PSE-порока // Птица и птицепродукты. 2020. № 4. С. 30–33.
7. *Barbut S.* Chapter 3: structure and muscle physiology // *The Science of Poultry and Meat Processing*. 2015.
8. Лукашенко В.С., Овсейчик Е.А., Окунева Т.С. Продуктивность мясных цыплят при выгульном выращивании // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2019. № 61. С. 60–64. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.201906009
9. *Vatnikov Y., Yousefi M., Engashev S., Rudenko P., Lutsay V., Kulikov E., Karamyan A., Dremova T., Tadzhiyeva A., Strizhakov A., Kuznetsov V., Yagnikov S., Shlindova E.* Clinical and hematological parameters for selecting the optimal dose of the phytopreparation «deprim», containing an extract of the herb *Hypericum perforatum* L., in husbandry // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020. Vol. 12. Suppl. 1. P. 2731–2742. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.401
10. Астраханцев А.А. Продуктивность цыплят-бройлеров при различных технологических вариантах выращивания // Птицеводство. 2019. № 1. С. 26–30. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-1-26-30
11. Рожнецов А.Л., Смоленцев С.Ю. Эффективность технологии выращивания цыплят различных сроков // Ветеринарный врач. 2019. № 1. С. 55–59. doi: 10.33632/1998-698X.2019-1-55-59
12. Кавтарашвили А.Ш., Буяров В.С. Современные системы содержания цыплят-бройлеров: отечественный и мировой опыт // Биология в сельском хозяйстве. 2021. № 2 (31). С. 13–17.
13. Овчинникова А.А., Бычаев А.Г. Создание бройлеров для фермерских и приусадебных хозяйств // Материалы международной научнопрактической конференции молодых ученых и обучающихся, посвящается 115-летию Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. С. 105–108.
14. Фисинин В.И., Столляр Т.А., Буяров В.С. Инновационные процессы и технологии в мясном птицеводстве // Вестник ОрелГАУ. 2007. № 1. С. 6–13.
15. Фисинин В.И. Мировое и российское производство: реалии и вызовы будущего. Сергиев посад: Хлебпродинформ, 2019. 470 с.
16. *Szöllösi L., Béres E., Szűcs I.* Effects of modern technology on broiler chicken performance and economic indicators — a Hungarian case study // *Italian Journal of Animal Science*. 2021. Vol. 20. No 1. P. 188–194. doi: 10.1080/1828051X.2021.1877575
17. Руденко П.А., Ватников Ю.А., Руденко А.А., Руденко В.Б. Эпизоотический анализ животноводческих ферм, неблагополучных по факторным инфекциям // Научная жизнь. 2020. Т. 15. № 4 (104). С. 572–585. doi: 10.35679/1991-9476-2020-15-4-572-585
18. *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 phytopreparation farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine // *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020. Vol. 12. P. 1481–1492. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP2.164

19. Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Севастьянов Н.Н. Мясная продуктивность бройлерных петушков «Смена 8» // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. № 1. 2015. С. 30–32.
20. Nikitchenko V.E., Nikitchenko D.V., Plyuschnikov V.G., Seregin I.G., Nikishov A.A., Rystsova E.O. Effect of complex phytochemical characteristics of Cobb 500 cross mail broiler chicks // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25. № 3. P. 558–563.
21. Evaris E.F., Franco L.S., Castro C.S. Slow-growing male chickens fit poultry production systems with outdoor access // *World's Poultry Science Journal*. 2019. Vol. 75. № 3. P. 429–444.
22. Devatkal S.K., Vishnuraj M.R., Kulkarni V.V., Kotaiah T. Carcass and meat quality characterization of indigenous and improved variety of chicken genotypes // *Poultry Science*. 2018. Vol. 97. № 8. P. 2947–2956. doi: 10.3382/ps/pey108
23. Devatkal S.K., Naveena B.M., Kotaiah T. Quality, composition, and consumer evaluation of meat from slow-growing broilers relative to commercial broilers // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. № 11. P. 6177–618. doi: 10.3382/ps/pez344

References

1. Efimov DN, Egorova AV, Emanuilova ZV, et al. *Rukovodstvo po rabote s ptitsej myasnogo krossa 'Smena 9' s avtoseksnoi materinskoj roditel'skoi formoi* [The guide to work with birds of meat cross 'Change 9' with an autosex maternal parent form. Sergiev Posad; 2021. (In Russ.).
2. Zagorskaya V. Broiler: on the floor or in the cage? *Sfera: Ptitseprom*. 2017;(1):9–15. (In Russ.).
3. Lukashenko VS, Ovseychik EA, Komarov AA. Meat yields and quality in broilers as affected by rearing system. *Ptitsevodstvo*. 2020;(3):40–43. (In Russ.). doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-3-40-43
4. European convection on the protection of vertebrates used for experiments or scientific research. ETS No. 123. Strasbourg, 1986.
5. Nikitchenko DV, Nikitchenko VE, Kondrashkina KM, Panakhova SO, Robletchikova MS. Broiler myopathies in poultry industry (the review). *Poultry and chicken products*. 2022;(3):60–64. (In Russ.). doi: 10.30975/2073-4999-2022-24-3-60-64
6. Seregin IG, Baranovich ES, Nikitchenko VE, Nikitchenko DV, Kozak YA. Changes in broiler and hog meat with PSE defect signs. *Poultry and chicken products*. 2020;(4):30–33. (In Russ.). doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-4-30-33
7. Barbut S. *The Science of Poultry and Meat Processing. Chapter 3: Structure and Muscle Physiology*. 2015. Available from: <http://hdl.handle.net/10214/9300> [Accessed 20th January 2023].
8. Lukashenko VS, Ovseychik EA, Okuneva TS. The productive performance in free-range broilers. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2019;(6):60–64. (In Russ.). doi: 10.26155/vet.zoo.bio.201906009
9. Vatnikov Y, Yousfi M, Engashev S, Rudenko P, Lutsay V, Kulikov E, et al. Clinical and hematological parameters for selecting the optimal dose of the phytopreparation «deprim», containing an extract of the herb *Hypericum perforatum* L., in husbandry. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(Suppl. 1):2731–2742. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.401
10. Astrakhantsev AA. The productive performance in broiler chicks in different production systems. *Ptitsevodstvo*. 2019;(1):26–30. (In Russ.). doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-1-26-30
11. Rozhentsov AL, Smolentsev SY. Performance of technologies of breeding broiler chickens of various crosses. *Veterinarny Vrach*. 2019;(1):55–59. (In Russ.). doi: 10.33632/1998-698x.2019-1-55-59
12. Kavtarashvili AS, Buyarov VS. Modern systems for containing chickens-broilers: domestic and world experience. *Biology in Agriculture*. 2021;(2):13–17. (In Russ.).
13. Ovchinnikova AA, Bychaev AG. Creation of broilers for farm and households. *The role of young scientists and researchers in solving urgent problems of the agricultural sector: conference proceedings*. Saint Petersburg; 2019. p.105—108. (In Russ.).
14. Fisinin VI, Stollar TA, Buyarov VS. Innovative processes and technologies in meat poultry farming. *Bulletin of agrarian science*. 2007;(1):6–13. (In Russ.).
15. Fisinin VI. *Mirovye i rossiiskoe proizvodstvo: realii i vyzovy budushchego* [World and Russian production: realities and challenges of the future]. Sergiev Posad: Khlebprodinform publ.; 2019. (In Russ.).
16. Szöllősi L, Béres E, Szűcs I. Effects of modern technology on broiler chicken performance and economic indicators — a Hungarian case study. *Italian Journal of Animal Science*. 2021;20(1):188–194. doi: 10.1080/1828051X.2021.1877575

17. Rudenko PA, Vatnikov YA, Rudenko AA, Rudenko VB. Epizootic analysis of factor-infected cattle farms. *Scientific life*. 2020;15(4):572–585. (In Russ.). doi: 10.35679/1991-9476-2020-15-4-472-585
18. Vatnikov Y, Donnik I, Kulikov E, Karamyan A, Sachivkina N, Rudenko P, et al. Research on the antibacterial and antimycotic effect of the phytopreparation Farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(Suppl. 2):1481–1492. (In Russ.). doi: 10.31838/ijpr/2020.SP2.164
19. Nikitchenko DV, Nikitchenko VE, Sevastyanov NN. Meat productivity of broiler cockerels of cross 'Smena 8'. *Theoretical and applied problems of agro-industry*. 2015;(1):30–32. (In Russ.).
20. Nikitchenko VE, Nikitchenko DV, Plyusnikov VG, Seregin IG, Nikishov AA, Rystsova EO. Effect of complex phytobiotics on morphochemical characteristics of Cobb 500 cross mail broiler chicks. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019;25(3):558–563.
21. Evaris EF, Franco LS, Castro CS. Slow-growing male chickens fit poultry production systems with outdoor access. *World's Poultry Science Journal*. 2019;75(3):429–444. doi: 10.1017/S0043933919000400
22. Devatkal SK, Vishnuraj MR, Kulkarni VV, Kotaiah T. Carcass and meat quality characterization of indigenous and improved variety genotypes. *Poultry Science*. 2018;97(8):2947–2956. doi: 10.3382/ps/pey108
23. Devatkal SK, Naveena BM, Kotaiah T. Quality, composition, and con-sumer evaluation of meat from slow-growing broilers relating to commercial broilers. *Poultry Science*. 2019;98(11):6177–6186. doi: 10.3382/ps/pez344

Об авторах:

Кондрашкина Ксения Максимовна — аспирант департамента ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая 8 к 2; e-mail: skm9710@yahoo.com
ORCID: 0000-0001-8282-2734

Никитченко Дмитрий Владимирович — доктор биологических наук, профессор, департамент ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая 8 к 2; e-mail: dvnikitchenko@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0531-0377

Никитченко Владимир Ефимович — доктор ветеринарных наук, профессор, департамент ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая 8 к 2; e-mail: v.e.nikitchenko@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6542-5673

About authors:

Kondrashkina Ksenia Maksimovna — postgraduate student, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: skm9710@yahoo.com
ORCID: 0000-0001-8282-2734

Nikitchenko Dmitry Vladimirovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: dvnikitchenko@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0531-0377

Nikitchenko Vladimir Efimovich — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: v.e.nikitchenko@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6542-5673



Генетика и селекция животных Genetics and selection of animals

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-105-115

EDN WTBNKE

УДК 636.52/.58:577.21: 575.113:636.082.2

Научная статья / Research article

Структура геномной ДНК в популяциях кур, выявляемая мультилокусным ДНК-зондом

В.П. Терлецкий  , **В.И. Тыщенко** 

Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

 valeriter@mail.ru

Аннотация. Молекулярно-генетические технологии занимают все большее место в селекционной работе по совершенствованию существующих пород и популяций кур, а также в программах сохранения ценного генофонда. Малочисленные локальные породы являются источником ценных генов, которые можно использовать в селекции. Цель исследования — получение новых знаний о структуре геномной ДНК шести популяций кур с помощью мультилокусного анализа с меченым молекулярным зондом (ГТГ) 5. Мультилокусный анализ с использованием меченых ДНК-зондов позволяет одновременно учитывать большое число генетических локусов и рассчитать популяционно-генетические параметры как внутри популяций, так и между ними. Приведены данные по использованию мультилокусного зонда в реакции молекулярной гибридизации на шести породах и популяциях кур различного происхождения. Показано, что большое генетическое расстояние наблюдалось между черно-пестрым австралорпом и голошейной ($D = 0,155$). По критерию средней гетерозиготности популяция голошейных кур превосходила юрловских голосистых и черно-пестрых австралорпов. Очевидно, это связано с интенсивной селекционной работой, проводимой в последних двух популяциях, что снижает их генетическое разнообразие. Выявлены маркерные фрагменты ДНК, специфичные для отдельных пород. Подтверждена эффективность мультилокусного анализа как инструмента выявления особенностей организации генома в породах и популяциях кур.

© Терлецкий В.П., Тыщенко В.И., 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: породы кур, генетическое разнообразие, гетерозиготность, коэффициент сходства, генетические расстояния

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

Финансирование. Благодарности. Работа подготовлена в рамках выполнения государственного задания 0445–2021–0010.

История статьи: поступила в редакцию 5 августа 2022 г., принята к публикации 18 октября 2022 г.

Для цитирования: Терлецкий В.П., Тыщенко В.И. Структура геномной ДНК в популяциях кур, выявляемая мультилокусным ДНК-зондом // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 105—115. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-105-115

Structure of genomic DNA in chicken populations revealed by multilocus DNA probe

Valeriy P. Terletskiy  , Valentina I. Tyshchenko 

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding,
St. Petersburg, Russian Federation
 valeriter@mail.ru

Abstract. Molecular genetic technologies are taking an increasing place in breeding work to improve existing breeds and populations of chickens, as well as in programs to preserve a valuable gene pool. Small local breeds are a source of valuable genes that can be used in breeding. The aim of this work was to obtain new knowledge about the structure of genomic DNA of six chicken populations using multilocus analysis with a labeled molecular probe (GTG)5. Multilocus analysis using labeled DNA probes provides working simultaneously with a large number of genetic loci and calculating population genetic parameters both within populations and between them. The data on use of the multilocus probe (GTG)5 in molecular hybridization reaction in six breeds and populations of chickens were analyzed. The results revealed a large genetic distance between Black-and-White Australorp and the Bald-necked chickens ($D = 0.155$). Bald-necked chickens are bred in isolation from other breeds to maintain the unique trait of ‘naked necks’. According to the criterion of average heterozygosity, the population of Bald-necked chickens surpassed the Yurlov Crows and Black-and-White Australorps. Obviously, this is due to the intensive breeding work carried out in the last two populations, which reduces genetic diversity. Marker DNA fragments specific for individual breeds were identified. The effectiveness of multilocus analysis as a tool for identifying the features of genome organization in chicken breeds and populations was confirmed.

Keywords: chicken breeds, genetic variability, heterozygosity, similarity coefficient, genetic distances

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

Funding. The work was carried out within the framework of the state assignment no. 0445–2021–0010.

Article history: Received: 5 August 2022. Accepted: 18 October 2022.

For citation: Terletskiy VP, Tyshchenko VI. Structure of genomic DNA in chicken populations revealed by multilocus DNA probe. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):105—115. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-105-115

Введение

Генетический анализ ДНК кур различных пород позволяет установить их исторические взаимоотношения, направления селекции, уточнить происхождение пород, биологическое разнообразие и выявить ассоциации отдельных участков генома с продуктивными признаками [1–3]. Особенно актуальны такие исследования в отношении малочисленных генофондных пород и популяций [4, 5]. В ряде случаев выведение новых пород происходило путем скрещиваний различных групп птицы с последующим закреплением нужных фенотипов. При этом «следы» самых различных пород могут выявляться при анализе распределения однонуклеотидных полиморфизмов (SNP) на чипах высокой плотности [6, 7]. Нужно отметить, что интенсивная селекция на продуктивные признаки может снизить вариабельность генов, определяющих резистентность у птицы [8, 9].

В программах скрещивания при создании гибридных форм можно использовать генофондные породы с уникальными генами [10]. С практической точки зрения важно понять вклад каждой породы в конечный результат. Описаны случаи интрогрессии генов от промышленных высокопродуктивных пород генофондным [11]. Поддержание необходимого уровня разнообразия в популяциях — необходимый элемент в селекционной работе. Известно, что снижение генетического разнообразия выражается в виде инбредной депрессии с проявлением целого комплекса негативных последствий [12, 13]. Причиной этого считается переход вредных рецессивных аллелей, не экспрессирующихся в гетерозиготном состоянии, в гомозиготное состояние. В последнее время доказывают также, что при инбридинге возможны изменения в метилировании ДНК, что выражается в депрессии [14].

Цель исследования — выявить популяционно-генетические параметры, такие как межпопуляционное разнообразие (коэффициент сходства и генетическое расстояние), внутривидовое разнообразие (гетерозиготность), в шести породах и популяциях кур.

Материалы и методы исследований

В исследовании использовали биоматериал (кровь из подкрыльцовой вены), полученный из особей ($n = 10–15$) кур шести популяций Биоресурсной коллекции Всероссийского научно-исследовательского института генетики и разведения сельскохозяйственных животных (ВНИИГРЖ). Для предотвращения сворачивания крови в пробирку помещали 1 каплю 0,5 М раствора этилендиаминотетрауксусной кислоты (ЭДТА). Клетки лизировали в буфере TES (50 мМ трис, 20 мМ ЭДТА, 10 мМ NaCl, pH 8,0), содержащим 0,5 % раствор додецилсульфата. Параллельно в раствор вносили протеиназу К до конечной концентрации 100 мкг/мл, обеспечивающей расщепление белков смеси. После проведения инкубации при 60 °С в пробирки вносили равный объем водонасыщенного фенола, встряхивали и центрифугировали для полного разделения фаз. Верхнюю фазу с ДНК отбирали в новую пробирку, ДНК осаждали этанолом и растворяли в буфере TE (10 мМ трис, 1 мМ ЭДТА).

Геномную ДНК расщепляли эндонуклеазой рестрикции *HaeIII*, полученные фрагменты ДНК разделяли по длине в агарозном геле, переносили на нейлоновый фильтр, фиксировали в ультрафиолетовом свете, проводили реакцию молекулярной гибридизации с меченым олигонуклеотидным зондом (ГТГ) 5, как описано ранее [5]. Анализ количества и распределения фрагментов ДНК на фильтре позволил рассчитать попарное сходство между особями как внутри каждой популяции, так и между популяциями. Доля общих фрагментов ДНК выражалась коэффициентом сходства (BS). Гетерозиготность рассчитывали по формуле [15, с. 732] с использованием программы Gelstats™. Филогенетические деревья строили с использованием программы Statistica 6.0™ (модуль программы Cluster analysis). Основные этапы экспериментальной работы приведены на рис. 1.

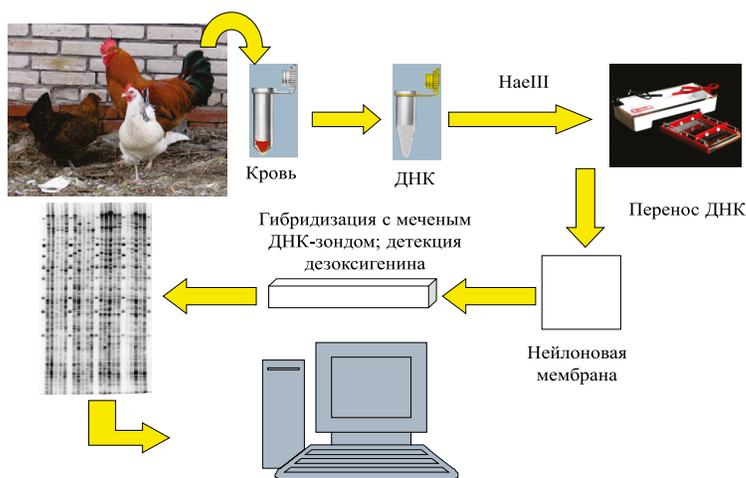


Рис. 1. Схематическое изображение основных этапов проведения мультилокусного анализа

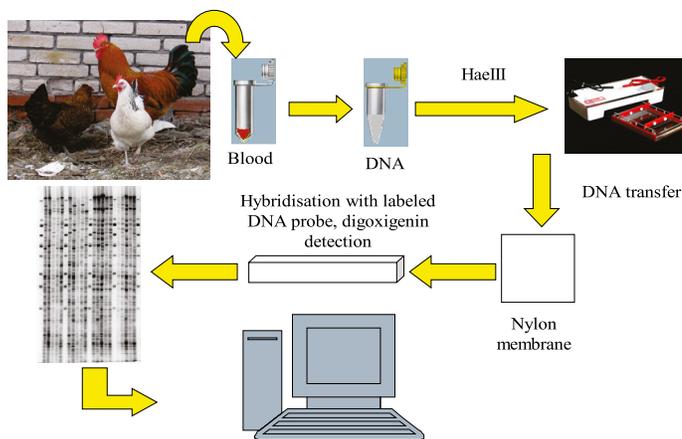


Fig. 1. Outline of main experimental stages of multilocus analysis

Результаты исследования и обсуждение

В первом эксперименте были определены популяционно-генетические параметры в трех популяциях кур следующих пород: юрловская голосистая, черно-пестрый австралорп и голошейная (табл. 1). Наибольшее генетическое расстояние наблюдалось между черно-пестрым австралорпом и голошейной ($D = 0,155$), а также между юрловской голосистой и голошейной ($D = 0,145$), из чего следует, что данные породы имеют разные корни в происхождении. Относительную близость показали куры юрловской голосистой и черно-пестрого австралорпа. Более разнообразной группой является голошейная, в особях которой доля общих фрагментов ДНК при попарном сравнении была наиболее низкой ($BS = 0,32$).

Таблица 1

Популяционно-генетические параметры в 3 популяциях кур (юрловская голосистая, черно-пестрый австралорп, голошейная), полученные методом ДНК-фингерпринтинга

Популяции кур	n	Полос на дорожку, $X \pm m$	P	BS ¹	BS ²	D
Юрловская голосистая Черно-пестрый австралорп	10 11	27,7 ± 0,9 27,4 ± 0,5	9,2 × 10 ⁻¹³ 6,9 × 10 ⁻¹²	0,37 0,39	0,29	0,090
Юрловская голосистая Голошейная	10 11	27,7 ± 0,9 22,7 ± 1,6	9,2 × 10 ⁻¹³ 4,6 × 10 ⁻¹²	0,37 0,32	0,20	0,145
Черно-пестрый австралорп Голошейная	11 11	27,4 ± 0,5 22,7 ± 1,6	6,9 × 10 ⁻¹² 4,6 × 10 ⁻¹²	0,39 0,32	0,20	0,155

Примечание. P – вероятность встречаемости двух особей с идентичным набором всех фрагментов ДНК; BS¹ – коэффициент сходства внутри групп; BS² – коэффициент сходства между группами; D – генетическое расстояние.

Table 1

Population and genetic parameters in 3 chicken populations (Yurlov Crows, Black-and-White Australorp and Bald-necked chickens) generated by DNA fingerprinting

Chicken population	n	Bands per lane, $X \pm m$	P	BS ¹	BS ²	D
Yurlov Crows Black-and-White Australorp	10 11	27.7 ± 0.9 27.4 ± 0.5	9.2 × 10 ⁻¹³ 6.9 × 10 ⁻¹²	0.37 0.39	0.29	0.090
Yurlov Crows Bald-necked chickens	10 11	27.7 ± 0.9 22.7 ± 1.6	9.2 × 10 ⁻¹³ 4.6 × 10 ⁻¹²	0.37 0.32	0.20	0.145
Black-and-White Australorp Bald-necked chickens	11 11	27.4 ± 0.5 22.7 ± 1.6	6.9 × 10 ⁻¹² 4.6 × 10 ⁻¹²	0.39 0.32	0.20	0.155

Note. P – the probability of occurrence of two individuals with an identical set of all DNA fragments; BS¹ – coefficient of similarity within groups; BS² – coefficient of similarity between groups; D – genetic distance.

Поиск специфических фрагментов ДНК в первых трех изучаемых популяциях (табл. 2) привел к выявлению фрагментов ДНК № 108 и 112 — маркерные фрагменты для черно-пестрого австралорпа, встречаются с частотой (0,91), но у особей

голошейной и юрловской голосистой пород они не встречаются вообще либо имеют низкую частоту встречаемости.

Таблица 2

Специфические фрагменты ДНК и аллели, имеющие разную частоту встречаемости в 3 популяциях кур (юрловская голосистая, черно-пестрый австралорп и голошейная), рассчитанные методом ДНК-фингерпринтинга

Фрагмент ДНК	Частота фрагментов ДНК			Частота встречаемости аллелей $q = 1 - \sqrt{1 - p}$		
	I	II	III	I	II	III
85	0,80	0,27	0,18	0,55	0,15	0,09
106	0,10	0,00	0,73	0,05	0,00	0,48
108	0,60	0,91	0,00	0,37	0,68	0,00
112	0,00	0,91	0,18	0,00	0,05	0,09

Примечание. I – юрловская голосистая; II – черно-пестрый австралорп; III – голошейная; p – частота встречаемости фрагмента ДНК в популяции.

Table 2

Specific DNA fragments and alleles with different frequency of occurrence in 3 chicken populations (Yurlov Crower, Black-and-White Australorp and Bald-necked chicken) calculated by DNA fingerprinting

DNA fragment	DNA fragment frequency			Frequency of allele occurrence $q = 1 - \sqrt{1 - p}$		
	I	II	III	I	II	III
85	0.80	0.27	0.18	0.55	0.15	0.09
106	0.10	0.00	0.73	0.05	0.00	0.48
108	0.60	0.91	0.00	0.37	0.68	0.00
112	0.00	0.91	0.18	0.00	0.05	0.09

Note. I – Yurlov Crower; II – Black-and-White Australorp; III – Bald-necked chicken; p – frequency of DNA fragment in population.

Расчеты, проведенные на выявление внутрипопуляционного генетического разнообразия в этих популяциях кур (табл. 3), подтвердили предположение о том, что наиболее разнообразной популяцией являются особи голошейной породы, показавшие наибольшую гетерозиготность ($H = 0,76$). Тем не менее достаточно высокая гетерозиготность наблюдалась и у других пород ($H = 0,71$).

Гетерозиготность Н в 3 популяциях кур: юрловская голосистая, черно-пестрый австралорп, голошейная

Популяции кур	n	Число локусов	Число аллелей	Число полиморфных локусов	H
Юрловская голосистая	10	16,16	5,88	1,00	0,71
Черно-пестрый австралорп	11	16,05	5,48	1,00	0,71
Голошейная	11	12,91	6,50	1,00	0,76

Table 3

Heterozygosity (H) in three chicken populations: Yurlov Crower, Black-and-White Australorp and Bald-necked chicken

Chicken population	n	Number of loci	Number of alleles	Number of polymorphic loci	H
Yurlov Crower	10	16.16	5.88	1.00	0.71
Black-and-White Australorp	11	16.05	5.48	1.00	0.71
Bald-necked chicken	11	12.91	6.50	1.00	0.76

Известно, что голошейные куры — редкая генофондная порода народной селекции, разводима в условиях коллекционеров и у любителей. Признак голошейности имеет генетическую природу, наследуется как доминантный, стойко передается потомству. Порода не скрещивается с другой птицей и содержится в изолированном состоянии на протяжении длительного времени, что обуславливает генетическую удаленность. Эти представления наглядно проиллюстрированы построением филогенетического древа как с использованием значений коэффициента сходства, так и генетических расстояний (рис. 2).

Аналогичная работа была проведена на трех популяциях кур павловской породы: особи из Биоресурсной коллекции ВНИИГРЖ, куры из Московской области, куры из фермерского хозяйства Барнаула (табл. 4). Наибольшим коэффициентом сходства внутри породы отличались павловские куры из Московской области ($BS^1 = 0,58$), а наименьшим — куры из Биоресурсной коллекции ВНИИГРЖ ($BS^1 = 0,39$), но тем не менее по генетическим расстояниям они очень близки ($D = 0,055$). Наиболее выраженная генетическая дистанция определялась между павловскими курами из Барнаула и Московской области ($D = 0,105$), а также между курами из Барнаула и экспериментального хозяйства ВНИИГРЖ ($D = 0,100$).



Рис. 2. Филогенетическое древо, показывающее генетические взаимоотношения в породах кур по данным программы Statistica 6.0™ (модуль Cluster analysis): Var1 – юрловская голосистая; Var2 – черно-пестрый австралорп; Var3 – голошейная. По оси ординат – условные единицы генетического расстояния

Fig. 2. Phylogenetic tree showing genetic relationships in chicken breeds according to the Statistica 6.0™ program (Cluster analysis module): Var1 – Yurlov Crows, Var2 – Black-and-White Australorp, Var3 – Bald-necked chicken. On the y-axis – conventional units of genetic distance

Таблица 4

Популяционно-генетические параметры в 3 популяциях кур павловской породы (ВНИИГРЖ, Московская обл., Барнаул), полученные методом ДНК-фингерпринтинга

Группы кур	n	Количество полос на дорожку X ± m	P	BS ¹	BS ²	D
Павловская ВНИИГРЖ	15	10,6 ± 0,9	4,7 × 10 ⁻⁵	0,39	0,43	0,055
Павловская Моск. обл.	12	13,6 ± 0,9	5,5 × 10 ⁻⁴	0,58		
Павловская ВНИИГРЖ	15	10,6 ± 0,9	4,7 × 10 ⁻⁵	0,39	0,36	0,100
Павловская Барнаул	13	15,0 ± 1,4	7,5 × 10 ⁻⁵	0,53		
Павловская Моск. обл.	12	13,6 ± 0,9	5,5 × 10 ⁻⁴	0,58	0,45	0,105
Павловская Барнаул	13	15,0 ± 1,4	7,5 × 10 ⁻⁵	0,53		

Table 4

Population and genetic parameters in 3 groups of Pavlov chickens (RRIFAGB, Moscow region, Barnaul), as revealed by DNA fingerprinting

Chicken group	n	Bands per lane, X ± m	P	BS ¹	BS ²	D
Pavlov RRIFAGB	15	10.6 ± 0.9	4.7 × 10 ⁻⁵	0.39	0.43	0.055
Pavlov Moscow region	12	13.6 ± 0.9	5.5 × 10 ⁻⁴	0.58		
Pavlov RRIFAGB	15	10.6 ± 0.9	4.7 × 10 ⁻⁵	0.39	0.36	0.100
Pavlov Barnaul	13	15.0 ± 1.4	7.5 × 10 ⁻⁵	0.53		
Pavlov Moscow region	12	13.6 ± 0.9	5.5 × 10 ⁻⁴	0.58	0.45	0.105
Pavlov Barnaul	13	15.0 ± 1.4	7.5 × 10 ⁻⁵	0.53		

Заключение

ДНК-зонд (ГТГ)5 может эффективно использоваться при выяснении особенностей организации генома у кур различных пород и популяций. С его помощью можно рассчитать основные популяционно-генетические параметры, такие как коэффициент сходства, средняя гетерозиготность и генетические расстояния.

Библиографический список

1. Коршунова Л.Г., Карапетян Р.В. Молекулярная генетика в селекции сельскохозяйственной птицы // Птицеводство. 2018. № 2. С. 2–5.
2. Коршунова Л.Г., Карапетян Р.В. Использование генетических методов на основе ДНК-маркеров продуктивных признаков в селекции кур // Птицеводство. 2021. № 5. С. 4–7. doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-5-4-7
3. Zhuang Z.X., Cheng S.E., Chen C.F., Lin E.C., Huang S.Y. Genomic regions and pathways associated with thermotolerance in layer-type strain Taiwan indigenous chickens // *Journal of Thermal Biology*. 2020. Vol. 88: 102486. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.102486
4. Гальперн И.Л., Перинек О.Ю., Федорова З.Л. Использование двух генофондных пород кур для создания трехлинейного яично-мясного кросса // Птица и птицепродукты. 2020. № 1. С. 34–39. doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-1-34-39
5. Тыщенко В.И., Терлецкий В.П. Молекулярно-генетическая характеристика четырех генофондных пород кур // Птица и птицепродукты. 2019. № 3. С. 64–66. doi: 10.30975/2073-4999-2019-21-3-64-66
6. Chen L., Wang X., Cheng D., Chen K., Fan Y., Wu G., You J., Liu S., Mao H., Ren J. Population genetic analyses of seven Chinese indigenous chicken breeds in a context of global breeds // *Animal Genetics*. 2019. Vol. 50(1). P. 82–86. doi: 10.1111/age.12732
7. Rostamzadeh M.E., Esmailzadeh A., Ayatollahi M.A., Asadi F.M. A genome-wide scan to identify signatures of selection in two Iranian indigenous chicken ecotypes // *Genetics Selection Evolution*. 2021. № 53(72). doi: 10.1186/s12711-021-00664-9
8. Бородин А.М., Алексеев Я.И., Герасимов К.Е., Коновалова Н.В., Терентьева Е.В., Ефимов Д.Н., Емануйлова Ж.В., Тучемский Л.И., Комаров А.А., Фисинин В.И. Селекция продуктивности кур влияет на гены иммунной системы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т. 24. № 7. С. 755–760. doi: 10.18699/VJ20.670
9. Bosse M., Megens H.J., Derks M.F.L., de Cara Á.M.R., Groenen M.A.M. Deleterious alleles in the context of domestication, inbreeding, and selection // *Evolutionary Applications*. 2018. № 12(1). С. 6–17. doi: 10.1111/eva.12691
10. Макарова А.В. Пример использования генофонда кур в селекционной программе // Генетика и разведение животных. 2019. № 3. С. 24–28. doi: 10.31043/2410-2733-2019-3-24-28
11. Zhang C., Lin D., Wang Y., Peng D., Li H., Fei J., Chen K., Yang N., Hu X., Zhao Y., Li N. Widespread introgression in Chinese indigenous chicken breeds from commercial broiler // *Evolutionary Applications*. 2019. № 12(3). С. 610–621. doi: 10.1111/eva.12742
12. Xue Q., Li G., Cao Y., Yin J., Zhu Y., Zhang H., Zhou C., Shen H., Dou X., Su Y., Wang K., Zou J., Han W. Identification of genes involved in inbreeding depression of reproduction in Langshan chickens // *Animal Bioscience*. 2021. Vol. 34. № 6. P. 975–984. doi: 10.5713/ajas.20.0248
13. Doekes H.P., Bijma P., Windig J.J. How depressing is inbreeding? A meta-analysis of 30 years of research on the effects of inbreeding in livestock // *Genes (Basel)*. 2021. Vol. 12. № 6. P. 926. doi: 10.3390/genes12060926
14. Han W., Xue Q., Li G., Yin J., Zhang H., Zhu Y., Xing W., Cao Y., Su Y., Wang K., Zou J. Genome-wide analysis of the role of DNA methylation in inbreeding depression of reproduction in Langshan chicken // *Genomics*. 2020. Vol. 112. № 4. P. 2677–2687. doi: 10.1016/j.ygeno.2020.02.007

15. Stephens J.C., Gilbert D.A., Yuhki N., O'Brien S.J. Estimation of heterozygosity for single-probe multilocus DNA fingerprints // *Molecular Biology and Evolution*. 1992. Vol. 9. № 4. P. 729–743.

References

1. Korshunova LG, Karapetyan RV. Molecular genetic methods in poultry selection. *Ptitsevodstvo*. 2018;(2):2–5. (In Russ.).
2. Korshunova LG, Karapetyan RV. The use of the genetic methods based on the DNA markers of the productive traits in the selection of chicken. *Pticevodstvo*. 2021;(5):4–7. (In Russ.). doi: 10.33845/0033-3239-2021-70-5-4-7
3. Zhuang ZX, Cheng SE, Chen CF, Lin EC, Huang SY. Genomic regions and pathways associated with thermotolerance in layer-type strain Taiwan indigenous chickens. *Journal of Thermal Biology*. 2020;88:102486. doi: 10.1016/j.jtherbio.2019.102486
4. Galpern IL, Perinek OY, Fedorova ZL. The using of two gene pool breeds of chickens to create a 3-linear egg-meat cross. *Poultry and chicken products*. 2020;(1):34–39. (In Russ.). doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-1-34-39
5. Tyshchenko VI, Terletskiy VP. Molecular genetics characterization of four gene pool chicken breeds. *Ptica i pticeprodukti*. 2019;(3):64–66. (In Russ.). doi: 10.30975/2073-4999-2019-21-3-64-66
6. Chen L, Wang X, Cheng D, Chen K, Fan Y, Wu G, You J, Liu S, Mao H, Ren J. Population genetic analyses of seven Chinese indigenous chicken breeds in a context of global breeds. *Animal Genetics*. 2019;50(1):82–86. doi: 10.1111/age.12732
7. Rostamzadeh ME, Esmailzadeh A, Ayatollahi MA, Asadi FM. A genome-wide scan to identify signatures of selection in two Iranian indigenous chicken ecotypes. *Genetics Selection Evolution*. 2021;53:72. doi: 10.1186/s12711-021-00664-9
8. Borodin AM, Alekseev YI, Gerasimov KE, Konovalova NV, Terentjeva EV, Efimov DN, Emanuilova ZV, Tuchemskiy LI, Komarov AA, Fisinin VI. Chickens productivity selection affects immune system genes. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;24(7):755–760. (In Russ.). doi: 10.18699/VJ20.670
9. Bosse M, Megens HJ, Derks MFL, de Cara ÁMR, Groenen MAM. Deleterious alleles in the context of domestication, inbreeding, and selection. *Evolutionary Applications*. 2018;12(1):6–17. doi: 10.1111/eva.12691
10. Makarova AV. An example of using the chicken gene pool in breeding program. *Genetics and breeding of animals*. 2019;(3):24–28. (In Russ.). doi: 10.31043/2410-2733-2019-3-24-28
11. Zhang C, Lin D, Wang Y, Peng D, Li H, Fei J, Chen K, Yang N, Hu X, Zhao Y, Li N. Widespread introgression in Chinese indigenous chicken breeds from commercial broiler. *Evolutionary Applications*. 2019;12(3):610–621. doi: 10.1111/eva.12742
12. Xue Q, Li G, Cao Y, Yin J, Zhu Y, Zhang H, Zhou C, Shen H, Dou X, Su Y, Wang K, Zou J, Han W. Identification of genes involved in inbreeding depression of reproduction in Langshan chickens. *Animal Bioscience*. 2021;34(6):975–984. doi: 10.5713/ajas.20.0248
13. Doekes HP, Bijma P, Windig JJ. How depressing is inbreeding? A meta-analysis of 30 years of research on the effects of inbreeding in livestock. *Genes (Basel)*. 2021;12(6):926. doi: 10.3390/genes12060926
14. Han W, Xue Q, Li G, Yin J, Zhang H, Zhu Y, Xing W, Cao Y, Su Y, Wang K, Zou J. Genome-wide analysis of the role of DNA methylation in inbreeding depression of reproduction in Langshan chicken. *Genomics*. 2020;112(4):2677–2687. doi: 10.1016/j.ygeno.2020.02.007
15. Stephens JC, Gilbert DA, Yuhki N, O'Brien SJ. Estimation of heterozygosity for single-probe multilocus DNA fingerprints. *Molecular Biology and Evolution*. 1992;9(4):729–743. doi: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a040755

Об авторах:

Терлецкий Валерий Павлович — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Российская Федерация, 196625, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, пос. Тярлево, Московское ш., д. 55а; e-mail: valeriter@mail.ru
ORCID 0000-0003-4043-3823
SPIN-код 4512-5328

Тыщенко Валентина Ивановна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Российская Федерация, 196625, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, пос. Тярлево, Московское ш., д. 55а; e-mail: tinatvi@mail.ru
ORCID 0000–0003–4964–9938
SPIN-код 6294–2400

About authors:

Terletsky Valeriy Pavlovich — Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Molecular Genetics, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — branch of Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 55a Moskovskoe highway, Tyarlevo vil., Pushkin, St. Petersburg, 196625, Russian Federation; e-mail: valeriter@mail.ru
ORCID 0000–0003–4043–3823, SPIN-code 4512–5328

Tyshchenko Valentina Ivanovna — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Molecular Genetics, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — branch of Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 55a Moskovskoe highway, Tyarlevo vil., Pushkin, St. Petersburg, 196625, Russian Federation; e-mail: tinatvi@mail.ru
ORCID 0000–0003–4964–9938, SPIN-code 6294–2400



Ветеринария Veterinary science

DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-116-123

EDN WTHIER

УДК 616.15–074:615.9–07:615.2:57.082.2

Научная статья / Research article

Исследования гематологических показателей при подкожном введении инъекционной формы препарата L-карнитин

Л.И. Сабирзянова¹  , Г.В. Коновалова² , В.В. Токарь² ¹Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация²Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств
для животных и кормов, г. Москва, Российская Федерация
 l-sabirzyanova@list.ru

Аннотация. На территории Российской Федерации нет зарегистрированной инъекционной лекарственной формы левокарнитина для ветеринарного применения. Проведены доклинические исследования L-карнитина для ветеринарного применения, в частности субхронической токсичности, на лабораторных животных. Исследования токсичности были проведены на аутбредных крысах в октябре 2021 г. в виварии Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины. В исследовании участвовали самки весом 190...210 г, закупленные в Федеральном государственном унитарном предприятии «Питомник лабораторных животных «РАППОЛОВО»». Для изучения субхронической токсичности при подкожном введении L-карнитин вводили в 2 уровнях доз. Дозы определялись на основании результатов опыта по острой токсичности: 1/5 и 1/10 от максимальной переносимой дозы. Подопытные группы получали лекарственный препарат подкожно в дозе: первая (n = 10) — 0,08 мг/кг (1/5 от 2000 мг/кг), вторая (n = 10) — 0,04 мг/кг (1/10 от 2000 мг/кг). Контрольная группа (n = 10) получала подкожно натрия хлорид 0,09 % в дозе 1/5 от 2000 мг/кг. Препарат вводили ежедневно в течение 42 дней. Убой и отбор проб от второй половины животных проводили после оценки периода восстановления (через 10 дней после отмены препарата). В результате исследований установлено, что дозировка 1/5 от максимальной

© Сабирзянова Л.И., Коновалова Г.В., Токарь В.В., 2023

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

переносимой, как и дозировка 1/10 от максимальной переносимой, не вызывают внешних признаков токсикоза и гибели крыс. Значимых изменений в гематологических показателях крови животных опытных и контрольных групп не обнаружено.

Ключевые слова: доклинические исследования, клинический анализ крови, лабораторные животные, субхроническая токсичность, лекарственный препарат

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

Вклад авторов: Л.И. Сабирзянова — проведение исследования, анализ полученных данных, написание статьи; Г.В. Коновалова — планирование, составление плана исследования, обработка материала; В.В. Токар — планирование и составление плана исследования.

История статьи: поступила в редакцию 1 сентября 2022 г., принята к публикации 7 ноября 2022 г.

Для цитирования: Сабирзянова Л.И., Коновалова Г.В., Токар В.В. Исследования гематологических показателей при подкожном введении инъекционной формы препарата L-карнитин // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 116—123. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-116-123

Effect of L-carnitine administered via subcutaneous injection on hematological parameters of laboratory animals

Lilia I. Sabirzyanova¹  , Gella V. Konovalova² , Valentina V. Tokar² 

¹St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russian Federation

²The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality,
Moscow, Russian Federation

 l-sabirzyanova@list.ru

Abstract. To date, there is no registered injectable dosage form of levocarnitine for veterinary use on the territory of the Russian Federation. Based on the above, the purpose of our work was to conduct preclinical studies of L-carnitine of subchronic toxicity for veterinary use in laboratory animals. Experiments to test the toxicity were performed on outbred rats in October 2021 at the vivarium of St. Petersburg State University of Veterinary Medicine. The study involved females weighing 190...210 grams, purchased from RAPPOLOVO Laboratory Animal Nursery. To study subchronic toxicity via subcutaneous injection, L-carnitine was administered in 2 dose levels. The doses were determined based on the results of the acute toxicity experiment: 1/5 and 1/10 of the maximum tolerated dose. The first experimental group (n=10) received the drug subcutaneously at a dose of 0.08 mg/kg (1/5 of 2000 mg/kg). The second experimental group (n = 10) received the drug subcutaneously at a dose of 0.04 mg/kg (1/10 of 2000 mg/kg). The control group (n = 10) received sodium chloride 0.09 % subcutaneously at a dose of 1/5 of 2000 mg/kg. The drug was administered subcutaneously daily for 42 days. Killing and blood sampling from the second half of the animals was carried out after assessing the recovery period (10 days after drug cancellation). As a result of studies of subchronic toxicity of subcutaneously administered L-carnitine for veterinary use in laboratory animals, it was found that the dosage of 1/5 of the maximum tolerated, and the dosage of 1/10 of the maximum tolerated, do not cause external signs of toxicosis and death of rats. No significant changes in the hematological parameters of blood of animals from the experimental and control groups were found.

Key words: preclinical studies, clinical blood test, laboratory animals, subchronic toxicity, medicinal product

Author contributions: L.I. Sabirzyanova — performed the experiments, analyzed the data, wrote the paper; G.V. Konovalova — conceived and designed the experiments, analyzed the data; V.V. Turner — conceived and designed the experiments.

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

Article history: Received: 1 September 2022. Accepted: 7 November 2022.

For citation: Sabirzyanova LI, Konovalova GV, Tokar VV. Effect of L-carnitine administered via subcutaneous injection on hematological parameters of laboratory animals. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):116–123. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-116-123

Введение

Карнитин — это соединение природного происхождения, которое поступает в организм в основном с пищей посредством как активного, так и пассивного транспорта через мембраны энтероцитов (кишечных клеток). L-карнитин является стереоизомерной формой карнитина, при этом именно L-форма карнитина является физиологически активной. Наиболее высокая его концентрация отмечается в красном мясе и молочных продуктах. В организме синтезируется в почках, печени и головном мозге из двух основных аминокислот — лизина и метионина [1].

Область применения L-карнитина в клинической практике достаточно широка: его используют при кардиомиопатии, недоедании, циррозе печени, диабете, эндокринных расстройствах, сепсисе, старении, нейропатических расстройствах [2, 3]. Результаты ранее проведенных экспериментальных и эпидемиологических исследований использования L-карнитина в качестве терапевтического средства подтверждают целесообразность его применения в лечебной практике в ветеринарии [4–7]. Карнитин благотворно влияет на продуктивность животных, повышая устойчивость к заболеваниям обмена веществ, предотвращает ряд заболеваний, укрепляет иммунную системы и играет важную роль в метаболических и физиологических процессах [8–16].

На территории Российской Федерации нет зарегистрированной инъекционной лекарственной формы левокарнитина для ветеринарного применения.

Исходя из вышесказанного, **целью нашего исследования** было проведение доклинических исследований L-карнитина для ветеринарного применения, в частности субхронической токсичности, на лабораторных животных.

Материалы и методы исследования

Изучение параметров субхронической токсичности инъекционной лекарственной формы L-карнитина проводили согласно «Руководству по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ» (2005)¹,

¹ Хабриев Р.У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических лекарственных средств. 2-изд., перераб. и доп. М.: Медицина, 2005. 832 с.

ГОСТ 33215–2014² и с учетом требований Приказа Министерства сельского хозяйства РФ от 6 марта 2018 г. № 101³. Все эксперименты проведены с соблюдением правил, определенных Европейской Конвенцией по защите позвоночных животных, используемых для исследовательских и иных научных целей.

Исследования токсичности были проведены на аутбредных крысах в октябре 2021 г. в виварии Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины. В исследовании участвовали самки весом 190...210 г, закупленные в Федеральном государственном унитарном предприятии «Питомник лабораторных животных "РАППОЛОВО"».

Перед исследованием все животные были подвергнуты профилактическому карантинированию 14 дней. В течение карантина проводили ежедневный осмотр каждого животного (поведение и общее состояние), дважды в день животных наблюдали в клетках (заболеваемость и смертность). Перед началом исследования животные, отвечающие критериям включения в эксперимент, были распределены в группы по принципу аналогов.

В ходе исследования были использовали клетки для содержания лабораторных мышей и крыс М-5 (475 × 350 × 200 мм) 3W со съемным поддоном. Для кормления животных использовался комбикорм полнорационный для лабораторных животных ЛБК-120 (Тосненский комбикормовый завод), соответствующий ГОСТ 34566-2019. Профильтрованная водопроводная вода давалась в стандартных автоклавируемых поилках. Для подкожных введений использовали шприцы инсулиновые BD Micro-Fine Plus 0,5мл/U-100 30G (0,30 мм × 8 мм).

Для изучения субхронической токсичности при подкожном введении L-карнитин вводили в 2 уровнях доз. Дозы определяли на основании результатов опыта по острой токсичности: 1/5 и 1/10 от максимальной переносимой дозы. Первая подопытная группа (n = 10) получала лекарственный препарат подкожно в дозе 0,08 мг/кг (1/5 от 2000 мг/кг), вторая (n = 10) — в дозе 0,04 мг/кг (1/10 от 2000 мг/кг). Контрольная группа (n = 10) получала подкожно натрия хлорид 0,09 % в объеме, эквивалентном среднему объему вводимого препарата на голову 1/5 от 2000 мг/кг. Препарат вводили ежедневно в течение 42 дней (период, трехкратно превышающий максимальный период применения в соответствии с проектом инструкции). Убой и отбор проб биологического материала от 5 животных из каждой группы проводили на следующий день после окончания введения препарата (43-й день), убой и отбор биологического материала от оставшихся животных — через 10 суток после окончания введения (53-й день). При оценке субхронической токсичности от лабораторных животных отбирали цельную кровь методом декапитации в одноразовые пластиковые пробирки. Для биохимического анализа использовали пробирки с активатором свертывания (объем 3 мл), для клинического анализа

² ГОСТ 33215–2014. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур (Переиздание): межгос. стандарт: изд. офиц.: дата введения 2016–07–01. М.: Стандартинформ, 2019. 13 с.

³ Приказ МСХ РФ от 06.03.2018 г. № 101 «Об утверждении правил проведения доклинического исследования лекарственного средства для ветеринарного применения, клинического исследования лекарственного препарата для ветеринарного применения, исследования биоэквивалентности лекарственного препарата для ветеринарного применения.

крови брали пробы с ЭДТА (объем 2 мл), для протромбинового индекса — пробы с цитратом натрия (объем 1,8 мл), которые маркировали и отправляли в лабораторию на исследование.

Результаты исследований и обсуждение

Результаты сравнения подопытных групп 1 и 2 с контрольной группой на 43-й и 53-й день эксперимента после подкожных инъекции L-карнитина в дозах 0,08 мг/кг и 0,04 мг/кг (1/5 и 1/10 от 2000 мг/кг) приведены (табл. 1, 2).

Таблица 1

Гематологические показатели крови подопытных и контрольной групп на 43-й день эксперимента

Показатели	Группа 1	Группа 2	Контрольная группа
	М ± SEM	М ± SEM	М ± SEM
Гематокрит, л/л	53,2 ± 1,6	52,6 ± 1,2	51,8 ± 2,0
Гемоглобин, г/л	121,8 ± 3,1	117,8 ± 3,5	117,0 ± 3,6
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	18,1 ± 1,3	18,0 ± 2,3	13,0 ± 1,6
Лимфоциты, %	67,8 ± 2,9	68,6 ± 3,2	61,8 ± 4,3
Моноциты, %	4,6 ± 0,9	4,0 ± 1,1	5,2 ± 0,6
Нейтрофилы палочкоядерные, %	2,4 ± 0,5	2,8 ± 0,6	2,4 ± 0,5
Нейтрофилы сегментоядерные, %	24,6 ± 2,0	22,4 ± 3,0	25,4 ± 4,8
Протромбиновый индекс, %	155,5 ± 6,9	160,2 ± 15,1	223,8 ± 14,4
СОЭ, мм/ч.	1,6 ± 0,4	1,2 ± 0,5	0,7 ± 0,1
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	153,0 ± 11,2	183,0 ± 25,3	159,4 ± 13,7
Эозинофилы, %	0,4 ± 0,2	0,2 ± 0,2	1,0 ± 0,5
Эритроциты, 10 ¹² /л	7,5 ± 0,2	7,6 ± 0,2	7,6 ± 0,2

Table 1

Hematological blood parameters in experimental and control groups on the 43rd day of the experiment

Parameters	Group 1	Group 2	Control group
	М ± SEM	М ± SEM	М ± SEM
Hematocrit, l/l	53.2 ± 1.6	52.6 ± 1.2	51.8 ± 2.0
Hemoglobin, g/l	121.8 ± 3.1	117.8 ± 3.5	117.0 ± 3.6
Leukocytes, 10 ⁹ /l	18.1 ± 1.3	18.0 ± 2.3	13.0 ± 1.6
Lymphocytes, %	67.8 ± 2.9	68.6 ± 3.2	61.8 ± 4.3
Monocytes, %	4.6 ± 0.9	4.0 ± 1.1	5.2 ± 0.6
Neutrophils Stab, %	2.4 ± 0.5	2.8 ± 0.6	2.4 ± 0.5
Neutrophils Segmented, %	24.6 ± 2.0	22.4 ± 3.0	25.4 ± 4.8
Prothrombin index, %	155.5 ± 6.9	160.2 ± 15.1	223.8 ± 14.4
ESR, mm/h	1.6 ± 0.4	1.2 ± 0.5	0.7 ± 0.1
Platelets, 10 ⁹ /l	153.0 ± 11.2	183.0 ± 25.3	159.4 ± 13.7
Eosinophils, %	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.2	1.0 ± 0.5
Erythrocytes, 10 ¹² /l	7.5 ± 0.2	7.6 ± 0.2	7.6 ± 0.2

**Гематологические показатели крови подопытных и контрольной групп
на 53-й день эксперимента**

Показатели	Группа 1	Группа 2	Контрольная группа
	M ± SEM	M ± SEM	M ± SEM
Гематокрит, л/л	53,2 ± 1,1	50,6 ± 1,3	50,8 ± 1,1
Гемоглобин, г/л	121,6 ± 1,8	121,2 ± 1,6	112,6 ± 5,6
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	17,8 ± 1,6	15,6 ± 2,1	16,9 ± 2,5
Лимфоциты, %	66,6 ± 2,5	65,0 ± 1,3	71,2 ± 2,1
Моноциты, %	1,8 ± 0,7	1,2 ± 0,2	3,4 ± 1,1
Нейтрофилы палочкоядерные, %	1,2 ± 0,4	1,0 ± 0,3	1,6 ± 0,5
Нейтрофилы сегментоядерные, %	29,0 ± 3,5	22,4 ± 1,6	21,6 ± 2,4
Протромбиновый индекс, %	132,7 ± 12,2	132,7 ± 2,8	135,3 ± 6,5
СОЭ, мм/ч	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	129,8 ± 10,7	169,6 ± 8,1	146,2 ± 6,5
Эозинофилы, %	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,6 ± 0,2
Эритроциты, 10 ¹² /л	7,6 ± 0,3	7,5 ± 0,4	7,4 ± 0,4

Table 2

**Hematological blood parameters in experimental and control groups
on the 53rd day of the experiment**

Parameters	Group 1	Group 2	Control group
	M ± SEM	M ± SEM	M ± SEM
Hematocrit l/l	53.2 ± 1.1	50.6 ± 1.3	50.8 ± 1.1
Hemoglobin, g/l	121.6 ± 1.8	121.2 ± 1.6	112.6 ± 5.6
Leukocytes, 10 ⁹ /l	17.8 ± 1.6	15.6 ± 2.1	16.9 ± 2.5
Lymphocytes, %	66.6 ± 2.5	65.0 ± 1.3	71.2 ± 2.1
Mogocytes, %	1.8 ± 0.7	1.2 ± 0.2	3.4 ± 1.1
Neutrophils Stab, %	1.2 ± 0.4	1.0 ± 0.3	1.6 ± 0.5
Neutrophils Segmented, %	29.0 ± 3.5	22.4 ± 1.6	21.6 ± 2.4
Prothrombin index, %	132.7 ± 12.2	132.7 ± 2.8	135.3 ± 6.5
ESR, mm/h	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
Platelets, 10 ⁹ /l	129.8 ± 10.7	169.6 ± 8.1	146.2 ± 6.5
Eosinophils, %	0.4 ± 0.2	0.4 ± 0.2	0.6 ± 0.2
Erythrocytes, 10 ¹² /l	7.6 ± 0.3	7.5 ± 0.4	7.4 ± 0.4

Заключение

В результате проведения исследований на лабораторных животных субхронической токсичности лекарственного препарата L-карнитин для ветеринарного применения при подкожном введении установлено, что дозировка 1/5 от максимальной переносимой, как и дозировка 1/10 от максимальной переносимой, не вызывают внешних признаков токсикоза и гибели крыс. Значимых изменений в гематологических показателях крови животных опытных и контрольной групп не было обнаружено.

Библиографический список / References

1. Klementeva YI. The use of L-carnitine in a protected form in the diets of cows. *Collection of scientific papers of the North Caucasus Scientific Research Institute of Animal Husbandry*. 2014;3(1):239–243. (In Russ.).
Клементьева Ю.И. Использование L-карнитина в защищенной форме в рационах высокопродуктивных коров // Сборник научных трудов Северо-кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2014. № 1 С. 239–243.
2. Trusov NV, Mzhelskaya KV, Shipelin VA, Shumakova AA, Timonin AN, Riger NA, Aprjatin SA, Gmshinski IV, Nikityuk DB. The influence of L-carnitine on the immunological, integral and biochemical parameters of mice receiving a diet with excess of fat and fructose. *Russian Journal of Physiology*. 2019;105(5):619–633. (In Russ.). doi: 10.1134/S0869813919050121
Трусов Н.В., Мжельская К.В., Шипелин В.А., Шумакова А.А., Тимохин А.Н., Ригер Н.А., Анрятин С.А., Гмошинский И.В., Никитюк Д.Б. Влияние L-карнитина на иммунологические, интегральные и биохимические показатели мышцей, получающих рацион с избытком жира и фруктозы // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2019. № 5. С. 619–633. doi: 10.1134/S0869813919050121
3. Sizova ZM, Shikh EV, Makhova AA. The use of L-carnitine in general medical practice. *Therapeutic archive*. 2019;91(1):114–120. (In Russ.). doi: 10.26442/00403660.2019.01.000040
Сизова Ж.М., Ших Е.В., Махова А.А. Применение L-карнитина в общей врачебной практике // Терапевтический архив. 2019. № 1(91) С. 114–120. doi: 10.26442/00403660.2019.01.000040
4. Sato F, Omura T, Ishimaru M, Endo Y, Murase H, Yamashita E. Effects of Daily Astaxanthin and L-Carnitine Supplementation for Exercise-Induced Muscle Damage in Training Thoroughbred Horses. *Journal of Equine Veterinary Science*. 2015;35(10):836–842. doi: 10.1016/j.jevs.2015.08.003
5. Kranenburg LC, Westermann CM, Sain-van der Velden MGM, Graaf-Roelfsema E, Buyse J, Janssens GPJ, et al. The effect of long-term oral L-carnitine administration on insulin sensitivity, glucose disposal, plasma concentrations of leptin and acylcarnitines, and urinary acylcarnitine excretion in warmblood horses. *Veterinary Quarterly*. 2014;34(2):85–91. doi: 10.1080/01652176.2014.919745
6. Gross KL, Zicker SC. L-carnitine increases muscle mass, bone mass and bone density in growing large breed puppies. *Journal of Animal Science*. 2000;78:176.
7. Brandsch C, Eder K. Reproductive performance of rats supplemented with L-carnitine. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2003;87(7–8):301–307. doi: 10.1046/j.1439-0396.2003.00439.x
8. Kacar C, Zonturlu AK, Karapehlivan M, Ari UC, Ogun M, Citil M. The effects of L-carnitine administration on energy metabolism in pregnant Halep (Damascus) goats. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 2010;34(2):163–171. doi: 10.3906/vet-0805-11
9. Zeyner A, Harmeyer J. Metabolic functions of L-carnitine and its effects as feed additive in horses. A review. *Archives of Animal Nutrition*. 1999;52(2):115–138. doi: 10.1080/17450399909386157
10. Center SA, Harte J, Watrous D, Reynolds A, Watson TDG, Markwell PJ, et al. The clinical and metabolic effects of rapid weight loss in obese pet cats and the influence of supplemental oral L-carnitine. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 2000;14(6):598–608. doi: 10.1111/j.1939-1676.2000.tb02283.x
11. Yalçın S, Ergun A, Yalçın S, Ozsoy B. Use of L-carnitine and humate in laying quail diets. *Acta Veterinaria Hungarica*. 2005;53(3):361–370. doi: 10.1556/avet.53.2005.3.9
12. Yalçın S, Ergun A, Ozsoy B, Yalçın S, Erol H, Onbasilar L. The Effects of dietary supplementation of L-carnitine and Humic substances on performance, egg traits and blood parameters in laying hens. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2006;19(10):1478–1483. doi: 10.5713/ajas.2006.1478
13. Sarica S, Corduk M, Suicmez M, Cedden F, Yildirim M, Kilinc K. The effects of dietary L-Carnitine supplementation on Semen traits, reproductive parameters, and testicular histology of Japanese quail breeders. *Journal of Applied Poultry Research*. 2007;16(2):178–186. doi: 10.1093/japr/16.2.178
14. Zhai W, Neuman SL, Latour MA, Hester PY. The effect of male and female supplementation of L-carnitine on reproductive traits of white leghorns. *Poultry Science*. 2008;87(6):1171–1181. doi: 10.3382/ps.2007-00325
15. Waylan AT, Kayser JP, Gnad DP, Higgins JJ, Starkey JD, et al. Effects of L-carnitine on fetal growth and the IGF system in pigs. *Journal of Animal Science*. 2005;83(8):1824–1831. doi: 10.2527/2005.8381824x
16. Jacyno E, Kolodziej A, Kamyczek M, Kawecka M, Dziadek K, Pietruszka A. Effect of L-carnitine supplementation on boar semen quality. *Acta Veterinaria Brno*. 2007;76(4):595–600. doi: 10.2754/avb200776040595

Об авторах:

Сабирзянова Лилия Ильгизовна — кандидат ветеринарных наук, ассистент, Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Российская Федерация, 196084, г. Санкт-Петербург, ул. Черниговская, д. 5; e-mail: l-sabirzyanova@list.ru

ORCID: 0000-0001-6516-8857

Коновалова Гелла Владимировна — заведующий отделом доклинических исследований, Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Российская Федерация, 123007, г. Москва, 2-й Хорошёвский переулок, д. 5; e-mail: g.konovalova@vgnki.ru

ORCID: 0000-0001-5306-7303

Токар Варвара Вениаминовна — заместитель заведующего отделом доклинических исследований, Всероссийский государственный центр качества и стандартизации лекарственных средств для животных и кормов, Российская Федерация, 123007, г. Москва, 2-й Хорошёвский переулок, д. 5; e-mail: v.tokar@vgnki.ru

ORCID: 0000-0001-9830-8799

About the authors:

Sabirzyanova Liliia Ilgizovna — Assistant, Candidate of Veterinary Sciences, St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, 5 Chernigovskaya st., St. Petersburg, 196084, Russian Federation; e-mail: l-sabirzyanova@list.ru

ORCID: 0000-0001-6516-8857

Konovalova Gella Vladimirovna — Head of the Preclinical Research Department, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, 5 Zvenigorodskoe highway, Moscow, 123022, Russian Federation; e-mail: g.konovalova@vgnki.ru

ORCID: 0000-0001-5306-7303

Tokar Varvara Veniaminovna — Deputy Head, Preclinical Research Department, The Russian State Center for Animal Feed and Drug Standardization and Quality, 5 Zvenigorodskoe highway, Moscow, 123022, Russian Federation; e-mail: v.tokar@vgnki.ru

ORCID: 0000-0001-9830-8799



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-124-134

EDN XNVIE

УДК 619:618.96:569.822.2–086

Научная статья / Research article

Анализ патогенетической манифестации декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек

Е.В. Куликов¹ , Н.В. Бабичев¹ , А.И. Тележенкова¹,
Н.С. Бугров¹ , П.А. Руденко^{1,2}  

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

²Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН,
г. Пуцзино, Московская обл., Российская Федерация
 pavelrudenko76@yandex.ru

Аннотация. Несмотря на создание новых поколений антибактериальных средств, коррекция дисбиоза кишечника у животных остается одной из самых сложных и актуальных проблем в клинической ветеринарной медицине. Приведен анализ патогенетической манифестации (микробный фон, гематологические анализы) при декомпенсированном дисбактериозе кишечника у домашних кошек в динамике его коррекции. Цель исследования — изучить сравнительную эффективность различных схем фармакотерапии декомпенсированного дисбактериоза кишечника у домашних кошек наиболее рациональной схемой терапии является комплексное применение пробиотика «Лактобифадол» (действующие вещества: лактобактерии *Lactobacillus acidophilus* и бифидобактерии *Bifidobacterium adolescentis*), пребиотика «Ветелакт» (содержит лактулозу — не менее 50 %), иммуномодулятора «Азоксивет» (Азоксимер бромид), а также инфузионной терапии (натрия хлорида 0,9 % раствор, в/в, капельно, в дозе 10 мл/кг; 5 % раствор глюкозы, в/в, капельно, в дозе 10 мл/кг; раствор реофортана, в/в, капельно, в дозе 2,5 мл/кг живой массы тела). Это подтверждено результатами патогенетической картины (анализ микробного фона и отдельных гематологических анализов) в динамике фармакотерапии: до начала коррекции, на 7-е и 14-е сутки. Совершенствование диагностических подходов и методов коррекции наиболее тяжелой степени дисбактериоза кишечника (стадия декомпенсации) создают предпосылки для будущего изучения дисбиотических нарушений кишечного тракта у других видов животных с учетом стадийности тяжести его проявления.

Ключевые слова: дисбиоз, мелкие домашние животные, терапия, декомпенсация, пробиотики, пребиотики, иммуностимуляторы

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Препараты приобретались в ветеринарных аптеках владельцами животных после их назначения ветеринарными врачами в ветеринарных клиниках.

© Куликов Е.В., Бабичев Н.В., Тележенкова А.И., Бугров Н.С., Руденко П.А., 2023



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

Вклад авторов: концепция — П.А. Руденко; методология — Е.В. Куликов, валидация — Н.В. Бабичев; работа с данными — Н.С. Бугров, А.И. Тележенкова; написание первой версии — Е.В. Куликов, П.А. Руденко; ревизия и редактирование текста — П.А. Руденко, А.И. Тележенкова; визуализация результатов — Е.В. Куликов. Все авторы прочитали окончательную версию рукописи и согласны с ней.

Доступность данных: Данные, представленные в этом исследовании, доступны по запросу к контактному лицу.

История статьи: поступила в редакцию 25 декабря 2022 г., принята к публикации 30 января 2023 г.

Для цитирования: Куликов Е.В., Бабичев Н.В., Тележенкова А.И., Бугров Н.С., Руденко П.А. Анализ патогенетической манифестации декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 124—134. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-124-134

Analysis of pathogenetic manifestation of decompensated intestinal dysbacteriosis in cats

Evgeny V. Kulikov¹ , Nikolai V. Babichev¹ ,

Alena I. Telezhenkova¹, Nikolai S. Bugrov¹ , Pavel A. Rudenko^{1,2}  

¹RUDN University, Moscow, Russian Federation

²Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms
of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Moscow Region, Russian Federation

 pavelrudenko76@yandex.ru

Abstract. Despite the creation of more and more new generations of antibacterial agents, the correction of intestinal dysbiosis in animals currently remains one of the most complex and urgent problems in clinical veterinary medicine. The article presents an analysis of the pathogenetic manifestation (microbial background, hematological analytes) in decompensated intestinal dysbacteriosis in domestic cats in the dynamics of its correction. The aim of the study was to study the comparative effectiveness of various pharmacotherapy regimens for decompensated intestinal dysbacteriosis in cats. The data shows that when correcting decompensated intestinal dysbacteriosis in domestic cats, the most rational treatment regimen is the complex use of Lactobifadol probiotic (contains at least 1.0×10^6 CFU/g of lactic acid bacteria *Lactobacillus acidophilus* LG1-DEP-VGIKI and 8.0×10^7 CFU/g of bifidobacteria *Bifidobacterium adolescentis* B-1-DEP-VGNKI), Vetelact prebiotic (contains lactulose — not less than 50 %), Azoksivet immunomodulator (contains 1.5 mg of azoximer bromide in 1 ml), as well as infusion therapy (intravenous drip injection of 10 ml/kg of 0.9 % sodium chloride solution; 10 ml/kg of 5 % glucose solution; 5 ml/kg of rheosorbelacl and 2.5 ml/kg of refortan). This was confirmed by the results of pathogenetic picture (analysis of the microbial background and individual hematological analytes), in the dynamics of pharmacotherapy, namely before the start of correction, as well as on days 7 and 14. The improvement of diagnostic approaches and methods for correcting the most severe degree of intestinal dysbacteriosis (the stage of decompensation) creates prerequisites for the future study of dysbiotic disorders of the intestinal tract in other animal species, considering the severity of its manifestation.

Keywords: dysbiosis, small pets, therapy, decompensation, probiotics, prebiotics, immunostimulants

Conflicts of Interest. The drugs were purchased in veterinary pharmacies by the owners of the animals, after they were prescribed by veterinarians in veterinary clinics.

Data Availability: The data presented in this study are available on request from the corresponding author.

Author Contributions: Conceptualization — Rudenko P.A.; methodology — Kulikov E.V.; validation — Babichev N.V.; data curation — Bugrov N.S., Telezhenkova A.I.; writing/original draft preparation — Kulikov E.V., Rudenko P.A.; writing/review and editing — Rudenko P.A., Telezhenkova A.I.; visualization — Kulikov E.V. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Article history: Received: 25 December 2022. Accepted: 30 January 2023.

For citation: Kulikov EV, Babichev NV, Telezhenkova AI, Bugrov NS, Rudenko PA. Analysis of pathogenetic manifestation of decompensated intestinal dysbacteriosis in cats. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):124–134. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-124-134

Введение

Клинический опыт показывает, что при воздействии комплекса неблагоприятных факторов внешней среды, неполноценного питания, нарушений ветеринарно-санитарных норм содержания, несоблюдении профилактических карт вакцинации инфекционных болезней и эмпирической антибиотикотерапии может снижаться иммунореактивность организма, и, как следствие, может возникать ряд иммунодефицитных состояний [1–4]. В результате приведенного комплекса причин, а также на фоне снижения количества индигенной микробиоты в различных биотопах организма активизируется рост и развитие условно патогенной микрофлоры, могут появиться штаммы с патогенными свойствами [2, 5–9]. Изменение экологического баланса в микробиоценозе может изменить законы форматирования микроэкологических систем, что приводит к возможности роста и развития нестандартных сочетаний микроорганизмов в биотопах организма, которые приведут к возникновению новых сложнокомпонентных и, зачастую, недоброкачественных микробиоценозов [7, 10–13]. Особенности течения дисбактериоза кишечника у животных, стертые границы клинической картины, неоднородность симптомов, широкий спектр этиологических факторов создают значительные трудности при диагностике, при этом зачастую ветеринарными специалистами упускается из виду развитие этого синдрома [3, 6, 14]. В этой связи коррекция дисбиозов кишечника у животных, в т. ч. и у кошек, остается одной из наиболее сложных и актуальных проблем практической ветеринарной деятельности.

В последние десятилетия у мелких домашних животных регистрируется неуклонный рост патологий, сопровождающихся нарушениями работы желудочно-кишечного тракта различной этиологии [9, 15]. Однако несмотря на создание новых поколений антибактериальных препаратов, пробиотиков, фитобиотиков, пребиотиков, вследствие просчетов при своевременной постановке диагноза, частота возникновения дисбактериозов при различных патологических процессах не только не снижается, а, наоборот, постоянно растет [2, 16, 17]. Поэтому оптимизация и совершенствование диагностических подходов, а также предложение новых эффективных схем коррекции дисбактериоза кишечника наиболее тяжелой декомпенсированной степени у кошек, на наш взгляд, является актуальным направлением научных изысканий в ветеринарной гастроэнтерологии.

Цель исследования — изучение сравнительной эффективности различных схем фармакотерапии декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены на базе департамента ветеринарной медицины Российского университета дружбы народов на протяжении 2018–2022 гг. Клиническая часть работы выполнена на базе частных клиник ветеринарной медицины: «Аветтура», «Эпиона» и «В мире с животными».

Диагноз при подозрении на дисбактериоз кишечника ставили комплексно, с учетом данных анамнеза, клинического осмотра, а также микробиологических исследований. Оценку степени тяжести дисбактериоза кишечника (компенсированная, субкомпенсированная, декомпенсированная) осуществляли на основании проведенных клинико-лабораторных исследований. Контролем служили клинически здоровые особи ($n = 6$) в возрасте от 2 до 6 лет, смешанного пола, которых обследовали с письменного согласия их владельцев перед плановой вакцинацией.

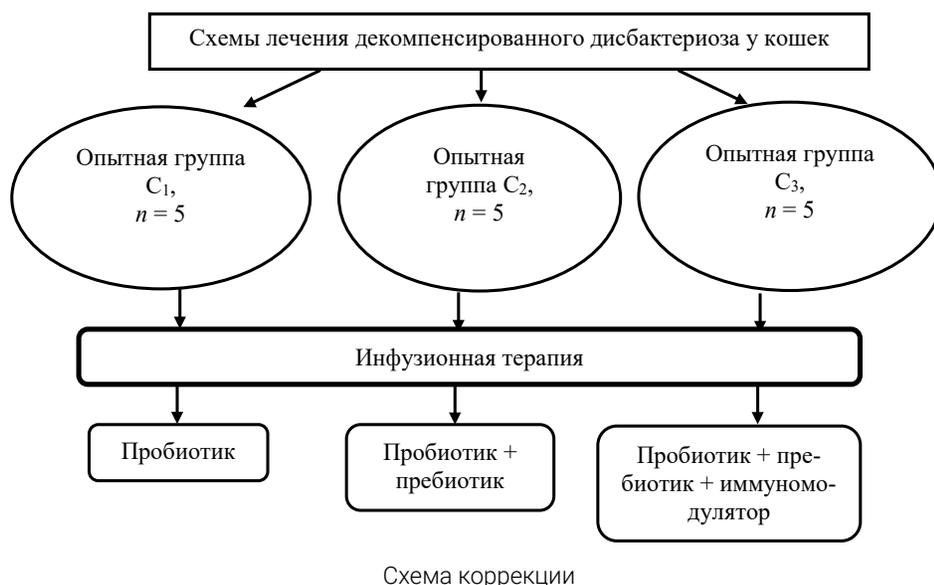
Микробиологические исследования проводили общепринятыми методами. Образцы крови в ЭДТА анализировали на автоматизированном гематологическом анализаторе Mythic 18 с ветеринарным программным обеспечением (C2 DIAGNOSTICS S.A., France). Рассчитывали функциональный показатель гемопоэза и клеточных элементов — нагрузочный эритроцитарный коэффициент (НЭК), который определяли по формуле

$$\text{НЭК} = \text{СОЭ} \cdot 10 \div \text{Hb},$$

где СОЭ — показатель скорости оседания эритроцитов; 10 — радикальный элемент, проявляющий анализируемую функцию; Hb — показатель гемоглобина.

Кошки с декомпенсированным дисбактериозом кишечника, поступившие в ветеринарные клиники «методом конвертов», были рандомно разделены на три опытные группы: C_1 ($n = 5$); C_2 ($n = 5$) и C_3 ($n = 5$). Дизайн исследования приведен на рисунке.

Животным всех опытных групп проводили по показаниям патогенетическую терапию и назначали пробиотик «Лактобифадол» (содержит в одном грамме препарата не менее $1,0 \times 10^6$ КОЕ живых клеток молочнокислых бактерий *Lactobacillus acidophilus* ЛГ1-ДЕП-ВГИКИ и $8,0 \times 10^7$ КОЕ живых клеток бифидобактерий *Bifidobacterium adolescentis* В-1-ДЕП-ВГНКИ) в дозе 0,2...0,4 г/кг массы животного один раз в сутки в течение 14 дней. Животным второй опытной группы, кроме этого, применяли перорально пребиотик «Ветелакт» содержит лактулозу — не менее 50 %) из расчета 0,1 мл на 1 кг массы животного ежедневно в течение 14 дней. Кошкам третьей опытной группы помимо пребиотика «Ветелакт» назначали иммуномодулятор «Азоксивет» (содержит в 1 мл препарата Азоксимера бромид — 1,5 мг), который вводили п/к или в/в 1 раз в сутки на протяжении 7 дней, в дозе 0.3 мг/кг живой массы. У животных C_1 — C_3 опытных групп по показаниям инфузионная терапия заключалась во внутривенном капельном введении раствора натрия хлорида 0,9 % в дозе 10 мл/кг; 5 % раствора глюкозы в дозе 10 мл/кг; реосорбелакта в дозе 5 мл/кг и рефортана в дозе 2,5 мл/кг живой массы.



Статистический анализ и интерпретацию полученных данных проводили с помощью компьютерной программы STATISTICA 7.0 (StatSoft, USA). При этом определяли среднюю арифметическую (Mean) и среднеквадратическую ошибку (SE), а также рассчитывали стандартное отклонение (SD). После статистического анализа определяли достоверность разницы между показателями опытных групп до и после фармакокоррекции, которую рассчитывали по методу Манна — Уитни.

Результаты исследований и обсуждение

Подход к коррекции дисбиоза кишечника должен быть комплексным, учитывающим причины его возникновения, восстанавливающим полученную брешь в микробном биотопе, создать благоприятные условия для размножения и заселения индигенной микрофлоры, а также стимулировать иммунологический ответ больного животного. В этой связи при коррекции микробиоты кишечника у кошек мы исследовали эффективность пробиотика, сочетанного влияния пробиотика и пребиотика, а также комплексного действия пробиотика, пребиотика и иммуномодулятора. Эффективность терапии декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек определяли по изменениям клинической картины в динамике коррекции, результаты которой отражены в табл. 1.

Все три терапевтические схемы, которые применяли кошкам с декомпенсированным дисбактериозом кишечника, показали свою эффективность, что наглядно подтверждает общее клиническое улучшение у животных C_1 — C_3 опытных групп на $10,00 \pm 0,31$, $9,20 \pm 0,20$ и $7,80 \pm 0,20$ сутки соответственно. Необходимо отметить, что наиболее эффективной схемой коррекции наиболее тяжелой третьей степени дисбактериоза кишечника у кошек является схема, которую назначали животным группы C_1 . Так, у животных третьей опытной группы нормализация

аппетита, галитоза, фактуры фекалий и общее клиническое улучшение наступали в 1,18 раза ($p < 0,05$); 1,27 раза ($p < 0,01$); 1,34 раза ($p < 0,01$) и 1,28 раза ($p < 0,001$) соответственно быстрее при сравнении с показателями группы C_1 .

Таблица 1

Эффективность терапии декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек

Клиническая манифестация	Опытные группы		
	C_1	C_2	C_3
Стабилизация аппетита, сут.	8,80 ± 0,37	8,20 ± 0,37	7,40 ± 0,24*
Нормализация галитоза, сут.	7,40 ± 0,24	6,60 ± 0,24	5,80 ± 0,20**
Нормализация фекалий, сут.	7,00 ± 0,31	6,20 ± 0,20	5,20 ± 0,20**
Общее клиническое улучшение, сут.	10,00 ± 0,31	9,20 ± 0,20	7,80 ± 0,20***

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Организм животного и населяющая его микрофлора, в т. ч. и микробиота кишечника, являются сбалансированной экологической системой. Поэтому любые качественные или количественные изменения микробного биоценоза будут, несомненно, оказывать существенное влияние на всю систему гомеостаза в целом. В этой связи для раскрытия причин возникновения расстройств работы кишечного тракта решающее значение имеют, прежде всего, результаты бактериологического исследования [3, 4]. Нами для наиболее объективного контроля эффективности коррекции дисбиоза кишечника у кошек проведены микробиологические исследования проб фекалий животных до терапии, а также на 7-е и 14-е сутки в динамике их лечения.

Результаты микробиологических исследований в процессе терапии кошек с декомпенсированным дисбактериозом кишечника C_1 — C_3 опытных групп приведены в табл. 2–4.

Таблица 2

Сопоставление микробиоты кишечника от кошек группы C_1 с декомпенсированным дисбактериозом, Ig

Род микроорганизма	До коррекции	В динамике коррекции	
		7-е сутки	14-е сутки
<i>Lactobacillus sp. p.</i>	4,47 ± 0,49	7,37 ± 0,25***	9,11 ± 0,20***
<i>Bifidobacterium sp. p.</i>	4,05 ± 0,54	6,96 ± 0,50**	9,26 ± 0,24***
<i>Staphylococcus sp. p.</i>	7,71 ± 0,53	5,66 ± 0,38*	3,57 ± 0,25***
<i>Streptococcus sp. p.</i>	7,31 ± 0,74	5,15 ± 0,63	3,60 ± 0,49**
<i>Escherichia sp. p.</i>	8,39 ± 0,50	7,83 ± 0,32	7,54 ± 0,27
<i>Pseudomonas sp. p.</i>	4,30 ± 1,05	1,72 ± 0,55	0,89 ± 0,42*
<i>Klebsiella sp. p.</i>	7,63 ± 0,81	4,44 ± 0,55*	2,29 ± 0,39***
<i>Citrobacter sp. p.</i>	6,93 ± 0,60	4,51 ± 0,37**	3,15 ± 0,17***
<i>Enterobacter sp. p.</i>	7,21 ± 0,59	4,69 ± 0,45**	3,27 ± 0,39***
<i>Bacillus sp. p.</i>	6,35 ± 0,46	4,65 ± 0,31*	2,68 ± 0,32***
<i>Proteus sp. p.</i>	4,96 ± 0,97	2,50 ± 0,64	1,09 ± 0,48**
<i>Candida sp. p.</i>	6,28 ± 0,26	2,99 ± 0,30***	1,20 ± 0,36***

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Таблица 3

**Сопоставление микробиоты кишечника от кошек группы С₂
с декомпенсированным дисбактериозом, Ig**

Род микроорганизма	До коррекции	В динамике коррекции	
		7 сутки	14 сутки
<i>Lactobacillus sp. p.</i>	2,81 ± 1,15	7,75 ± 0,44**	9,19 ± 0,25***
<i>Bifidobacterium sp. p.</i>	1,70 ± 0,73	7,93 ± 0,37***	9,85 ± 0,32***
<i>Staphylococcus sp. p.</i>	5,85 ± 1,54	3,97 ± 1,06	2,36 ± 0,84
<i>Streptococcus sp. p.</i>	6,03 ± 1,54	4,18 ± 1,06	2,41 ± 0,63
<i>Escherichia sp. p.</i>	8,03 ± 0,43	7,71 ± 0,31	7,55 ± 0,21
<i>Pseudomonas sp. p.</i>	2,65 ± 1,65	0	0
<i>Klebsiella sp. p.</i>	4,97 ± 2,03	2,24 ± 0,95	0*
<i>Citrobacter sp. p.</i>	5,79 ± 1,54	3,23 ± 0,98	2,02 ± 0,63
<i>Enterobacter sp. p.</i>	4,00 ± 1,66	2,75 ± 1,16	3,12 ± 0,45
<i>Bacillus sp. p.</i>	4,20 ± 1,75	2,56 ± 1,06	2,39 ± 0,99
<i>Proteus sp. p.</i>	3,74 ± 1,55	1,19 ± 0,52	0*
<i>Candida sp. p.</i>	3,90 ± 1,67	1,94 ± 0,81	0,92 ± 0,41

Примечание. *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001.

Таблица 4

**Сопоставление микробиоты кишечника от кошек группы С₃
с декомпенсированным дисбактериозом, Ig**

Род микроорганизма	До коррекции	В динамике коррекции	
		7 сутки	14 сутки
<i>Lactobacillus sp. p.</i>	1,84±1,17	8,19±0,46**	8,67±0,35***
<i>Bifidobacterium sp. p.</i>	0,47±0,47	9,15±0,39***	9,91±0,39***
<i>Staphylococcus sp. p.</i>	1,36±1,36	2,03±0,89	1,90±0,80
<i>Streptococcus sp. p.</i>	7,68±0,52	4,17±0,23***	3,27±0,33***
<i>Escherichia sp. p.</i>	8,19±0,50	6,95±0,49	6,84±0,23*
<i>Pseudomonas sp. p.</i>	6,58±0,30	0***	0***
<i>Klebsiella sp. p.</i>	6,22±0,55	2,20±0,40***	0***
<i>Citrobacter sp. p.</i>	3,26±2,00	1,53±0,71	1,42±0,65
<i>Enterobacter sp. p.</i>	2,98±1,85	1,79±0,89	1,57±0,76
<i>Bacillus sp. p.</i>	1,73±1,73	1,53±0,68	1,48±0,60
<i>Proteus sp. p.</i>	0	0	0
<i>Candida sp. p.</i>	3,57±2,19	0	0

Примечание. *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001.

Результаты сопоставления (табл. 1–4) указывают на то, что при терапии домашних кошек с третьей степенью декомпенсации дисбактериоза кишечника C_1 – C_3 опытных групп в пробах фекальных масс, отобранных для бактериологических исследований, уже на седьмые сутки коррекционного периода регистрировали достоверное увеличение количества представителей рода *Lactobacillus* sp. p. в 1,64 ($p < 0,001$), 2,75 ($p < 0,01$) и 4,45 раза ($p < 0,01$) соответственно при сравнении с выходными показателями. На 14-е сутки терапии у животных C_1 , C_2 и C_3 опытных групп в пробах фекалий наблюдали высокодостоверное ($p < 0,001$) увеличение количества лактобактерий в 2,03; 3,27 и 4,71 раза соответственно при сравнении с исходными данными. Аналогичную позитивную динамику наблюдали при анализе количества бифидобактерий в пробах фекалий кошек с декомпенсированным дисбактериозом кишечника, в процессе их терапии. Так, на 14-е сутки фармакотерапии в пробах фекалий наблюдали высокодостоверное ($p < 0,001$) увеличение представителей *Bifidobacterium* sp. p. у кошек C_1 , C_2 и C_3 опытных групп в 2,28 раза, с $4,05 \pm 0,54$ до $9,26 \pm 0,24$ lg; в 5,79 раза, с $1,70 \pm 0,73$ до $9,85 \pm 0,32$ lg и в 21,08 раза, с $0,47 \pm 0,47$ до $9,91 \pm 0,39$ lg соответственно. Кроме этого, уже на 7-е сутки терапии у животных группы C_3 наблюдали достоверное уменьшение количества стрептококков в 1,84 раза ($p < 0,001$), клебсиелл в 2,82 раза ($p < 0,001$), полное отсутствие изоляции псевдомонад и грибов рода Кандида. Позитивную динамику наблюдали у животных этой группы и на 14-е сутки терапии, что сопровождалось отсутствием изоляции клебсиелл.

При постановке диагноза помимо детального анализа микробиоценоза кишечника необходимо также учитывать и патогенетические особенности течения дисбиоза, что позволит наиболее точно поставить диагноз, определить степень тяжести патологии, спрогнозировать дальнейшее ее течение, а также подобрать оптимальную тактику терапевтической коррекции [16]. Динамика изменения гематологических анализов кошек при декомпенсированном дисбактериозе кишечника, в процессе их терапии, нашла свой отпечаток в табл. 5–7.

Таблица 5

**Динамика гематологических анализов кошек группы C_1
с декомпенсированным дисбактериозом на фоне терапии**

Показатели	До коррекции	В динамике коррекции	
		7 сутки	14 сутки
Гемоглобин, г/л	101,80 ± 5,04	115,20 ± 3,89	128,80 ± 1,90**
СОЭ, мм/ч	26,40 ± 2,52	13,60 ± 1,02**	6,00 ± 0,44***
НЭК, усл. ед.	2,61 ± 0,27	1,17 ± 0,07**	0,46 ± 0,02***
Лейкоциты, Г/л	16,42 ± 1,02	10,94 ± 0,57**	9,16 ± 0,30***

Примечание. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Таблица 6

**Динамика гематологических анализов кошек группы С₂
с декомпенсированным дисбактериозом на фоне терапии**

Показатели	До коррекции	В динамике коррекции	
		7-е сутки	14-е сутки
Гемоглобин, г/л	100,40 ± 3,95	123,00 ± 4,32**	136,40 ± 2,94***
СОЭ, мм/ч	22,60 ± 4,00	10,20 ± 0,86*	4,80 ± 0,66**
НЭК, усл. ед.	2,27 ± 0,40	0,82 ± 0,06**	0,34 ± 0,04**
Лейкоциты, Г/л	20,30 ± 1,23	11,38 ± 0,50***	8,48 ± 0,29***

Примечание. *p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Таблица 7

**Динамика гематологических анализов кошек группы С₃
с декомпенсированным дисбактериозом на фоне терапии**

Показатели	До коррекции	В динамике коррекции	
		7-е сутки	14-е сутки
Гемоглобин, г/л	102,20 ± 4,59	137,20 ± 2,63***	145,20 ± 2,35***
СОЭ, мм/ч	23,80 ± 2,59	6,00 ± 0,70***	3,80 ± 0,37***
НЭК, усл. ед.	2,34 ± 0,27	0,43 ± 0,04***	0,25 ± 0,02***
Лейкоциты, Г/л	17,64 ± 0,53	9,82 ± 0,44***	8,40 ± 0,29***

Примечание. *p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001.

Установлено, что наиболее позитивные сдвиги гематологических показателей регистрировали у кошек С₃ опытной группы. Так, у домашних кошек третьей опытной группы уже на седьмые сутки коррекции регистрировали высокодостоверное увеличение количества гемоглобина в 1,34 раза (p < 0,001), на фоне достоверного уменьшения показателя СОЭ в 3,96 раза (p < 0,001), показателя НЭК в 5,44 раза (p < 0,001) и уровня лейкоцитов в 1,79 раза (p < 0,001), при сравнении гематологическими показателями до назначения терапии. Дальнейшее наблюдение за опытными животными подтверждает эффективность коррекции животных С₃ группы. Так, на 14-е сутки комплексной фармакокоррекции домашних кошек пробиотиком, пребиотиком и иммуномодулятором привело к дальнейшему увеличению уровня гемоглобина в 1,42 раза (p < 0,001), уменьшению показателя СОЭ в 6,26 раза (p < 0,001), с 23,80 ± 2,59 до 3,80 ± 0,37 мм/ч; показателя НЭК в 9,36 раза (p < 0,001), с 2,34 ± 0,27 до 0,25 ± 0,02 усл. ед. и уровня лейкоцитов в 2,10 раза (p < 0,001), с 17,64 ± 0,53 до 8,40 ± 0,29 Г/л, при сравнении с показателями опытных кошек до назначения лечения.

В результате исследования нами раскрыты механизмы формирования микробиоценоза кишечника при наиболее тяжелой декомпенсированной степени у домашних кошек, усовершенствованы диагностические подходы путем детального клинического анализа и коррекции дисбиозов. Установлено, что при постановке диагноза определение тяжести течения дисбиоза кишечника у кошек имеет опре-

деленное прогностическое значение, которое в итоге может влиять на наиболее оптимальный выбор терапевтической коррекции. Введение к терапевтическим схемам коррекции декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек пробиотика «Лактобифадол», пребиотика «Ветелакт» и иммуномодулятора «Азоксивет» оказалось патогенетически обоснованным.

Заключение

Научно обоснованы клинико-диагностические подходы, а также усовершенствованы методы коррекции декомпенсированного дисбактериоза кишечника у кошек. Так, при декомпенсированном дисбактериозе кишечника у кошек назначение «Лактобифадола» (0,2...0,4 г/кг массы) в комплексе с «Ветелактом» (0,1 мл на 1 кг массы), «Азоксиветом» (0,3 мг/кг массы) и инфузионной терапии (натрия хлорида 0,9 % раствор, в/в, капельно, в дозе 10 мл/кг; 5 % раствор глюкозы, в/в, капельно, в дозе 10 мл/кг; раствор реосорбелакта, в/в, капельно, в дозе 5 мл/кг; раствор рефортана, в/в, капельно, в дозе 2,5 мл/кг живой массы тела) на протяжении 7 дней является наиболее эффективным. Об этом свидетельствует регистрация общего клинического улучшения в 1,28 раза быстрее, а также нормализация аппетита, галитоза, фактуры фекалий у кошек третьей опытной группы на 1,40; 1,60 и 1,80 суток раньше, в сравнении с больными кошками первой опытной группы.

Библиографический список

1. Иванникова Р.Ф., Пименов Н.В., Наврузиоева Г.Ш. Неспецифическая резистентность телят на фоне антенатального применения кормовой пробиотической добавки // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2021. № 11. С. 64–71. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202111009
2. Lyso S.B., Baturina O.A., Naumova N.B., Lescheva N.A., Pleshakova V.I., Kabilov M.R. No-antibiotic-pectin-based treatment differently modified cloaca bacteriome of male and female broiler chickens. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. № 1. С. 24. doi: 10.3390/agriculture12010024
3. Яшин А.В., Щербаков Г.Г., Ковалев С.П., Гусева В.А., Куляков Г.В., Клюско Д.А. Дисбактериоз у животных: теоретические и прикладные аспекты // Иппология и ветеринария. 2019. № 4(34). С. 159–162.
4. Bugrov N., Rudenko P., Lutsay V., Gurina R., Zharov A., Khairova N., Molchanova M., Krotova E., Shopinskaya M., Bolshakova M., Popova I. Fecal microbiota analysis in cats with intestinal dysbiosis of varying severity // *Pathogens*. 2022. Vol. 11. № 2. С. 234. doi: 10.3390/pathogens11020234
5. Naumova N.B., Alikina T.Y., Zolotova N.S., Konev A.V., Pleshakova V.I., Lescheva N.A., Kabilov M.R. Bacillus-based probiotic treatment modified bacteriome diversity in duck feces // *Agriculture*. 2021. Vol. 11. № 5. С. 406. doi: 10.3390/agriculture11050406
6. Wosinska L., Cotter P.D., O'Sullivan O., Guinane C. The potential impact of probiotics on the gut microbiome of athletes // *Nutrients*. 2019. Vol. 11(10). С. 2270. doi: 10.3390/nu11102270
7. Руденко П.А. Интенсивность перекисного окисления липидов и активность антиоксидантной системы кошек при гнойно-воспалительных процессах // Ветеринария. 2016. № 10. С. 45–48.
8. Honneffer J.B., Minamoto Y., Suchodolski J.S. Microbiota alterations in acute and chronic gastrointestinal inflammation of cats and dogs // *World J Gastroenterol*. 2014. Vol. 20(44). С. 16489–16497. doi: 10.3748/wjg.v20.i44.16489
9. Иванникова Р.Ф., Пименов Н.В. Оценка влияния на биологический статус молодняка овец симбиотической кормовой добавки // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2021. № 5. С. 57–62. doi: 10.36871/vet.zoo.bio.202105008
10. Marsilio S., Pilla R., Sarawichitr B., Chow B., Hill S.L., Ackermann M.R., Estep J.S., Lidbury J.A., Steiner J.M., Suchodolski J.S. Characterization of the fecal microbiome in cats with inflammatory bowel disease or alimentary small cell lymphoma // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. № 1. С. 19208. doi: 10.1038/s41598-019-55691-w

11. Яшин А.В., Прусаков А.В. Особенности состояния микроциркуляторного русла и мембранного пищеварения у новорожденных телят при диспепсии // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 2. С. 155–160. doi: 10.17238/issn2072-2419.2021.2.155

12. Vatikov Y., Shabunin S., Kulikov E., Karamyan A., Murylev V., Elizarov P., et al. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L // International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. Vol. 12. Suppl. 2. С. 3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.sp2.373

13. Павлова А.В., Пименов Н.В. Антибиотикорезистентность бактериальных патогенов, изолированных от животных в условиях ветеринарных клиник г. Луганска // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2020. № 2. С. 38–43. doi: 10.26155/vet.zoo.bio.202002006

14. Alessandri G., Argentini C., Milani C., Turroni F., Ossiprandi C.M., van Sinderen D., Ventura M. Catching a glimpse of the bacterial gut community of companion animals: a canine and feline perspective // Microb Biotechnol. 2020. Vol. 13. № 6. С. 1708–1732. doi: 10.1111/1751-7915.13656

15. Сенин А.Л., Яшин А.В., Раднатаров В.Д. Применение пробиотического штамма *Enterococcus faecium* I при гастроэнтерите у поросят // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. 2020. № 3(60). С. 74–80. doi: 10.34655/bgsha.2020.60.3.011

16. 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

17. Suchodolski J.S. Diagnosis and interpretation of intestinal dysbiosis in dogs and cats // The Veterinary Journal. 2016. Vol. 215. С. 30–37. doi: 10.1016/j.tvjl.2016.04.011

Об авторах:

Куликов Евгений Владимирович — 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: eugeny1978@list.ru
ORCID: 0000-0001-6936-2163

Бабичев Николай Валерьевич — 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: babichev-nv@rudn.ru
ORCID: 0000-0001-8444-8600

Бугров Николай Сергеевич — аспирант, департамент ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: bugr24-8@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4116-0620

Тележенкова Алена Игоревна — ассистент, департамент ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: telezhenkova-ai@rudn.ru

Руденко Павел Анатольевич — доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория биохимии клеточной поверхности микроорганизмов, ФИЦ ПНЦБИ «Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина» Российской академии наук (ИБФМ РАН), Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пущино, пр. Науки, д. 5; доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов (РУДН), Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: pavelrudenko76@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0418-9918



DOI: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-135-144

EDN ZDSVNC

UDC 619:616.98:616.36–002:636.8

Research article / Научная статья

Treatment for cholangiohepatitis in cats

Andrei A. Rudenko^{1,2}  , Arfenia S. Karamyan¹ , Denis S. Usenko³ ,
Elena A. Krotova¹ , Roman V. Rogov¹ , Ivan E. Prozorovskiy¹ 

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

²Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

³Lugansk State Agrarian University, Lugansk, Russian Federation

 vetrudek@yandex.ru

Abstract. Acute bacterial cholangiohepatitis of cats is a common disease associated with the inflammation of bile ducts and liver parenchyma, characterized by development of a pronounced hepatodepressive syndrome (hypoalbuminemia), cytolysis (increase in serum activity of alanine and asparagine transaminase), cholestasis (increase in serum concentration of bilirubin, cholesterol, activity of alkaline phosphatase and gamma-glutamyltranspeptidase), intoxication, dehydration, mesenchymal-inflammatory and pain syndromes. The aim of the research was to study the effectiveness of treatment for acute bacterial cholangiohepatitis in cats with average severity of the pathology course. According to inclusion and exclusion criteria, the study included a cohort of cats (n = 12) with acute bacterial cholangiohepatitis. Clinical, hematological, ultrasonographic, statistical methods of investigation were used in this work. For sick cats with medium severity form of cholangiohepatitis, when administered as a complex therapy the combination of marbofloxacin, metronidazole, ursodeoxycholic acid, cyancobolamine, tocopherol acetate, infusion therapy also had a good therapeutic effect, which was accompanied by improved clinical and laboratory performance. In the blood of cats with cholangiohepatitis, in the background of intensive therapy, there was a significant decrease in white blood cell count, erythrocyte sedimentation rate, and in serum, there was an increase in albumin concentration, reduction of creatinine, aminotransferase activity, alkaline phosphatase, gamma-glutamyltranspeptidase, lipase.

Key words: cholangitis, hepatitis, effectiveness of treatment, analgesia, marbofloxacin, metrogyl, urodeoxycholic acid, lidocaine, maropitant, gabapentin

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

Article history: Received: 23 April 2021. Accepted: 14 November 2022.

© Rudenko A.A., Karamyan A.S., Usenko D.S., Krotova E.A., Rogov R.V., Prozorovskiy I.E., 2023



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

For citation: Rudenko AA, Karamyan AS, Usenko DS, Krotova EA, Rogov RV, Prozorovskiy IE. Treatment for cholangiohepatitis in cats. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023; 18(1):135–144. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-135-144

Introduction

Pathology of small domestic animals with inflammatory and immune development mechanism is an urgent problem of veterinary medicine [1–3]. One of such diseases of cats is acute bacterial cholangiohepatitis [4–11]. This disease is characterized by development of inflammatory process in liver parenchyma and bile ducts, intoxication of organism, secondary changes in metabolism, formation of multimorbid pathology [12–16].

The treatment of sick cats with purulent cholangiohepatitis is based on antibiotics [17, 18]. It is necessary to isolate and identify pure culture of microorganisms of cholangitis pathogens and determine their sensitivity to antimicrobial agents. Various low-toxicity broad-spectrum antibiotics are used for effective treatment of sick cats, which provide sufficient concentrations in hepatobiliary system, in particular ampicillin, amoxicillin clavulanate, cephalixin, metronidazole, cephasolin, vancomycin, marbofloxacin and enrofloxacin.

The aim of the research was to study the effectiveness of complex treatment of cats with acute bacterial cholangiohepatitis, with average severity of the pathology course.

Materials and methods

The diagnosis for cholangiohepatitis of cats was made in a complex way taking into account the data of clinical examination, anamnesis, biochemical and morphological analysis of blood and ultrasonography [5, 7]. The following clinical criteria were used to assess the severity of the pathology: *mild form* — cats have clear consciousness, normal or subfebrile fever, reduced appetite, they actively and voluntarily change their posture and move around in space, vomiting is rare or absent, body dehydration syndrome is not pronounced; *medium form* — mental depression, marked weakness, subfebrile or pyretic fever, anorexia, rare vomiting, marked dehydration of the body; *severe form* — marked disorder of consciousness (severe oppression, stupor, sopor or coma), forced lying position, hypothermia, persistent anorexia, frequent vomiting, dehydration of the body is possible. Pain syndrome levels in animals were also assessed using a modified assessment scale [8].

General clinical blood analysis was performed using the URIT-2900 Vet Plus veterinary automatic hematology analyzer.

The BioChem SA semi-automatic biochemical analyzer (High Tecnology Inc., USA) was used to perform the above mentioned studies.

Ultrasound examination of abdominal organs was carried out on Aloka ProSound Alpha 6 (Japan) using a multi-frequency microconvection sensor with a scanning frequency of 6–9 MHz.

Cholecystocentesis for sick cholangiohepatitis cats was carried out under short-term multimodal anesthesia. The puncture of abdominal wall was performed on the right. Under aseptic conditions, cholecystocentesis was performed under ultrasound control

using a needle (22G, 0.7 × 40.0 mm) and 5 cm³ syringe. The method of access was chipped [9]. As much bile as possible was aspirated into the syringe. The puncture site was treated three times with 70 % ethanol as an antiseptic and an operating field was used. At the end of the procedure, control ultrasonography of hepatobiliary system in experimental cats was performed to evaluate potential damage of gallbladder.

Cats with medium severity of cholangitis were also treated in two ways:

- group B1 marbofloxacin (Marfloxin®) in a dose of 2 mg/kg intramuscularly once a day for 14 days, metronidazole (Metrogyl®) in a dose of 15 mg/kg intravenously drops two times a day for 10 days with subsequent oral conversion to 15 mg/kg for another 20 days, ursodeoxycholic acid (Ursofalk®) orally in a dose of 15 mg/kg once a day for 30 days, Cyancobolamine (vitamin B₁₂) 500 µg subcutaneously once every 7 days for 30 days, alpha-tocopherol acetate (vitamin E) orally in a dose of 15 mg/kg two times daily for 6 weeks, infusion therapy with isotonic crystalloid solutions in a daily volume of 100 ml (0.9 % sodium chloride solution — 40 ml, 5 % glucose solution — 30 ml and yonosteryl — 30 ml);

- group B2 — animals to whom therapy of similar group B1 was carried out, but with an additional prescription for 5 days of multimodal analgesia (lidocaine infusion with a constant rate of 50 µg/kg/hour, maropitant (Cerenia®) intravenously drops in a dose of 1 mg/kg once a day and gabapentin in a dose of 20 mg/kg two times a day orally. Treatment of cats with cholangiohepatitis should be comprehensive considering severity of the pathology, using pharmacological means of etiotropic, pathogenetic, symptomatic and substitution therapy.

For comparison of two or more groups, whose digital indicators did not correspond to the normal distribution of features, we used the non-parametric Mann — Whitney U-criterion for independent samples or the Wilcoxon test for dependent groups, respectively. To calculate the reliability of the difference in groups by the frequency of occurrence of features, criterion χ^2 was used, and if necessary, with the correction of Yates. The difference between numerical indicators was considered reliable at $p < 0.05$. All calculations were made on a personal computer using a statistical program STATISTICA 7.0 (StatSoft, USA).

Results

Bacteriological retrospect studies in five cats suffering from cholangiohepatitis with medium severity of pathology. The monoculture of *Escherichia coli* was isolated from bile; for seven cats it was associated with *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus epidermidis* or *Streptococcus faecalis*. All selected cultures have a high sensitivity to marbofloxacin.

The effectiveness of treatment measures was assessed on 12 cats with medium severity of cholangiohepatitis. Experienced cats were divided into two groups, in particular: B1 (n=5) — animals who were treated with marbofloxacin (Marfloxin®) in a dose of 2 mg/kg intramuscularly once a day for 14 days and with metronidazole (Metrogyl®)

in a dose of 15 mg/kg intravenously two times a day for 10 days, followed by oral conversion to a similar dose for another 20 days, ursodeoxycholic acid (Ursofalk®) orally in a dose of 15 mg/kg once daily for 30 days, cyancobolamine 500 µg subcutaneously once every 7 days for 30 days, alpha-tocopherol acetate orally in a dose of 15 mg/kg two times daily for 6 weeks, infusion therapy was also prescribed with isotonic crystalloid solutions in daily volume of 100 ml (0.9 % sodium chloride solution — 40 ml, 5 % glucose solution — 30 ml and yonosteryl — 30 ml); and B2 (n = 7) — animals, which were treated with similar group B1, but with an additional prescription for 5 days of multimodal analgesia (lidocaine infusion with a constant rate of 50 µg/kg/hour, maropitanate (Cerenia®) intravenously drops in a dose of 1 mg/kg once a day and gabapentin in a dose of 20 mg/kg two times a day orally).

The results of treatment of cats with medium severity of cholangiohepatitis are given in Table 1.

Table 1

Results of treatment for medium severity cholangiohepatitis in cats

Results of treatment	Groups of animals				Confidence of the difference p
	B1		B2		
	Number of cases	Percentage, %	Number of cases	Percentage, %	
Full recovery	2	40.0	4	57.1	≤1
Clinical recovery	1	20.0	1	14.3	≤1
Enhancement	1	20.0	1	14.3	≤1
Recidivism	0	0	1	14.3	≤0.5
Lethal	1	20.0	0	0	≤0.5
Total	5	100	7	100	—

Full recovery in cats with medium severity cholangiohepatitis was observed in B2 group by 17.1 % more frequently than in B1 group. In group B2, one case of recurrence of the pathology was registered, while in group B1, no such cases were found. At the same time, one lethal case was registered in group B1 and made up 20.0 %. It should be emphasized that the specified intergroup variability of outcomes at the medium severity of cholangiohepatitis in cats was found to be unreliable due to low number of observations.

Reduction of oppression in animals from group B1 was observed on 7...12 days of treatment, in group B2 — on 5...10 days; cessation of vomiting and full recovery of appetite was observed in group B1 on 7...12 days of therapeutic measures, in group B2 — on 6...9 days. During the repeated examination of sick cats in the veterinary clinic, an increase in general activity of animals, absence of painfulness at palpation of abdominal cavity was stated. The hiccups of visible mucous membranes in animals of groups B1 and B2 gradually decreased and became almost invisible on the 6th day.

In cats of B1 group on the 5th day of therapy, the index of the modified scale of pain syndrome estimation was on the average 15.0 ± 1.22 points, and in cats of B2 group this index was 5.1 ± 0.51 points, that was revealed to be reliable (Mann—Whitney criterion, $p < 0.01$).

Rectal body temperature in cats at the end of the therapy period ranged from 38.1 to 39.1 °C. Thus, according to the results of the clinical study of cats at the end of the

therapy, improvement of the clinical condition in most cats with cholangiohepatitis was found. Persistent improvement in cats of B1 group occurred on 10.0 ± 1.05 days, and in cats of B2 group — 6.3 ± 0.56 days. The above mentioned difference was revealed to be reliable ($p < 0.05$) at Mann — Whitney test.

The indices of erythrocytopoiesis during the period of cats' therapy at cholangiohepatitis of medium severity showed the normalization of hemopoiesis processes and elimination of hemoconcentration phenomena (Table 2).

Table 2

General clinical indicators of blood in cats with medium severity of cholangiohepatitis during the treatment

Indicator	Clinically healthy (n = 11)	Scheme	Before treatment		After treatment	
			n	M ± m	n	M ± m
Leukocytes, $10^9/L$	7.9 ± 0.63	B1	5	11.8 ± 1.72	4	8.6 ± 0.71
		B2	7	18.0 ± 5.42	7	8.8 ± 0.53
Hemoglobin, g/L	135.4 ± 6.63	B1	5	155.2 ± 14.23	4	150.8 ± 9.64
		B2	7	117.0 ± 14.00	7	$140.9 \pm 4.91^*$
Erythrocytes, $10^{12}/L$	8.6 ± 0.22	B1	5	10.0 ± 0.55	4	$7.4 \pm 0.44^*$
		B2	7	7.2 ± 0.52	7	7.8 ± 0.42
Hematocrit, %	39.9 ± 1.55	B1	5	46.5 ± 4.02	4	40.9 ± 2.84
		B2	7	35.2 ± 4.00	7	$52.3 \pm 1.69^*$
MCV, μm^3	46.8 ± 2.53	B1	5	46.8 ± 2.58	4	56.3 ± 5.20
		B2	7	48.9 ± 3.45	7	52.9 ± 2.82
MCH, pg	15.8 ± 1.05	B1	5	15.2 ± 0.98	4	$20.7 \pm 1.90^*$
		B2	7	16.4 ± 1.23	7	18.4 ± 1.14
MCHC, g/L	337.5 ± 6.11	B1	5	333.4 ± 8.39	4	349.3 ± 8.83
		B2	7	332.0 ± 4.89	7	334.0 ± 9.84
RDW, %	16.0 ± 0.48	B1	5	15.4 ± 0.47	4	16.0 ± 1.05
		B2	7	14.4 ± 0.81	7	15.3 ± 0.70
Thrombocytes, $10^9/L$	259.9 ± 17.5	B1	5	184.8 ± 13.98	4	337.8 ± 34.26
		B2	7	325.4 ± 79.28	7	304.0 ± 24.96
MPV, μm^3	9.7 ± 0.23	B1	5	8.3 ± 0.28	4	8.5 ± 0.23
		B2	7	9.9 ± 0.50	7	$8.8 \pm 0.25^*$
ESR, mm/hour	4.3 ± 0.52	B1	5	17.8 ± 3.50	4	9.0 ± 1.29
		B2	7	23.4 ± 3.90	7	$6.6 \pm 1.02^*$

Note. The difference between the digital indicators was considered significant at $p < 0.05$ (*).

The number of erythrocytes in the blood of cats treated according to B1 circuit decreased significantly (by 1.35 times; $p < 0.05$), the MCH index increased (by 1.2 times; $p < 0.05$), there was a tendency for the reduction of COE. In peripheral blood of cats of B2 group at the end of therapy, there was a reliable increase of hemoglobin concentration (by 1.2 times; $p < 0.05$), decrease of MPV (in 1.13 times; $p < 0.05$) and ESR (by 3.55 times; $p < 0.05$), a tendency of MCH increase close to reliability. In the blood of animals of both groups, a decrease in the number of leukocytes was observed close to reliability.

Dynamics of changes in the course of treatment of serum biochemical parameters in cats with cholangiohepatitis of medium severity is given in Table 3.

**Biochemical indicators of cat blood serum at medium severity
of cholangiohepatitis during the treatment**

Indicator	Clinically healthy (n = 11)	Scheme	Before treatment		After treatment	
			n	M ± m	n	M ± m
Urea, mmole/ L	7.8 ± 0.37	B1	5	8.4 ± 1.09	4	7.1 ± 0.49
		B2	7	9.1 ± 0.95	7	6.8 ± 0.30
Creatinine, μmol/L	122.5 ± 8.18	B1	5	131.8 ± 6.14	4	85.8 ± 8.24*
		B2	7	140.1 ± 10.04	7	86.3 ± 3.94*
Total bilirubin, μmol/L	3.5 ± 0.41	B1	5	12.4 ± 10.30	4	2.4 ± 0.54
		B2	7	23.1 ± 9.00	7	3.3 ± 0.39
AST, U/L	35.9 ± 3.33	B1	5	97.3 ± 22.13	4	45.5 ± 6.30
		B2	7	44.8 ± 5.82	7	47.4 ± 3.39
ALT, U/L	42.7 ± 3.32	B1	5	89.6 ± 18.45	4	47.0 ± 6.98
		B2	7	88.8 ± 19.46	7	52.1 ± 5.03
SF, U/L	21.3 ± 2.5	B1	5	39.0 ± 7.13	4	21.0 ± 1.73
		B2	7	59.3 ± 18.40	7	21.7 ± 1.78*
GGT, U/L	0.4 ± 0.15	B1	5	4.2 ± 1.80	4	2.3 ± 1.31
		B2	7	4.9 ± 1.16	7	2.4 ± 0.75
Glucose, mmole/ L	4.7 ± 0.16	B1	5	5.8 ± 1.13	4	4.6 ± 0.23
		B2	7	6.3 ± 1.24	7	3.9 ± 0.23
Total protein, g/ L	72.1 ± 1.58	B1	5	77.0 ± 4.82	4	72.1 ± 2.89
		B2	7	74.1 ± 6.28	7	68.3 ± 1.50
Albumins, g/ L	25.7 ± 0.78	B1	5	20.9 ± 1.89	4	26.8 ± 0.75*
		B2	7	22.2 ± 1.51	7	28.0 ± 0.87*
Cholesterol, mmole/l.	2.8 ± 0.16	B1	5	4.4 ± 0.38	4	2.8 ± 0.13*
		B2	7	3.9 ± 0.44	7	2.9 ± 0.16*
Amylase, U/L	736.3 ± 48.7	B1	5	846 ± 87	4	658 ± 74
		B2	7	781 ± 53	7	724 ± 64
Lipase, U/ L	38.0 ± 4.64	B1	5	79.6 ± 19.21	4	32.3 ± 10.62
		B2	7	66.1 ± 10.99	7	35.0 ± 5.38*

Note. The difference between the digital indicators was considered significant at $p < 0.05$ (*).

In serum of cats of B1 group the concentration of creatinine (1.53 times; $p < 0.05$) and cholesterol (1.57 times; $p < 0.05$) was significantly reduced, albumin concentration was increased (1.28 times; $p < 0.05$). In animals of B1 group a trend of decrease in serum activity of ALT, AST, alkaline phosphatase, amylase and lipase, which is close to reliability, was also revealed. In serum of cats of B2 group the concentration of creatinine (by 1.62 times; $p < 0.05$) and cholesterol (by 1.34 times; $p < 0.05$) was significantly reduced, albumin concentration increased (by 1.26 times; $p < 0.05$), lipase activity decreased (by 1.88 times; $p < 0.05$) and alkaline phosphorus (by 2.73 times; $p < 0.05$). In animals of B2 group there was also revealed a close to reliable downward trend in serum activity of ALT, AST, GGT and amylase. Additional prescription of multimodal analgesia to cats with medium cholangiohepatitis leads to a reliable ($p < 0.01$) decrease of the modified pain scale indicator by 2.9 times.

Discussion

Sick cats with medium severity form of cholangiohepatitis, when administered as a complex therapy the combination of marbofloxacin, metronidazole, ursodeoxycholic acid, cyancobolamine, tocopherol acetate, infusion therapy had a good therapeutic effect, which was accompanied by improved clinical and laboratory performance. However, additional prescription of means of multimodal analgesia (gabapentin, lidocaine, maropitan) was accompanied by increase of frequency of full recovery of animals, reliable decrease of signs of pain syndrome.

Gabapentin is an analogue of the inhibitory neurotransmitter of gamma-aminobutyric acid in the central nervous system. This preparation has a blocking effect on chronic pain impulse [4, 6]. Intravenous lidocaine injection in the form of infusion at a constant rate has a pronounced analgesic effect in cats [5]. Maropitant is a powerful and selective antagonist of neurokinin-1 receptor antagonists, influences the production of substance P, has a powerful anti-emetic, moderate sedative and analgesic effect. The experiment also shows some anti-inflammatory effect of this medicinal substance [10, 18].

In the blood of cats with acute bacterial cholangiohepatitis in the background of intensive care, there was a significant decrease in SER, the number of white blood cells; and in the serum, there was an increase in the concentration of albumin, a decrease in the concentration of creatinine, albumin, the activity of aminotransferases, schF, GGT, lipase. Relatively low lethality rates of cats in our study can be explained by the exception of chronic (lymphocytic-plasmocytic) forms of cholangiohepatitis. According to literature data, chronic lymphocytic cholangiohepatitis in cats is a rather severe pathology, which has a long latent period and almost always ends with biliary cirrhosis development [12, 15].

Conclusion

Sick cats with medium severity form of cholangiohepatitis, when administered as a complex therapy the combination of marbofloxacin, metronidazole, ursodeoxycholic acid, cyancobolamine, tocopherol acetate, infusion therapy had a good therapeutic effect, which was accompanied by improved clinical and laboratory performance. However, the additional prescription of multimodal analgesia was accompanied by an increase in the frequency of complete recovery of animals and a reliable decrease in the signs of pain syndrome. In the blood of cats with acute bacterial cholangiohepatitis in the background of intensive therapy, there was a significant decrease in SEE, white blood cell count; and in serum, there was an increase in albumin concentration, reduction of creatinine, albumin, activity of aminotransferases, alkaline phosphate, GGT, lipase. Additional prescription of multimodal analgesia (gabapentin, lidocaine, maropitan) for sick cats leads to a significant decrease in the modified pain scale.

References

1. Vatinikov Y, Vilkovysky I, Kulikov E, Popova I, Khairova N, Gazin A, Zharov A, Lukina D. Size of canine hepatocellular carcinoma as an adverse prognostic factor for surgery. *J Adv Vet Anim Res*. 2020;7(1):127–132. doi: 10.5455/javar.2020.g401

2. Vatikov YA, Rudenko AA, Usha BV, Kulikov EV, Notina EA, Bykova IA, Khairova NI, Bondareva IV, Grishin VN, Zharov AN. Left ventricular myocardial remodeling in dogs with mitral valve endocardiosis. *Vet World*. 2020;13(4):731–738. doi: 10.14202/vetworld.2020.731-738
3. 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
4. Day DG. Feline cholangiohepatitis complex. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 1995;25(2):375–385. doi: 10.1016/s0195-5616(95)50032-4
5. Boland L, Beatty J. Feline Cholangitis. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2017;47(3):703–724. doi: 10.1016/j.cvsm.2016.11.015
6. Fragkou FC, Adamama-Moraitou KK, Poutahidis T, Prassinou NN, Kritsepi-Konstantinou M, Xenoulis PG, Steiner JM, Lidbury JA, Suchodolski JS, Rallis TS. Prevalence and Clinicopathological Features of Triaditis in a Prospective Case Series of Symptomatic and Asymptomatic Cats. *J Vet Intern Med*. 2016;30(4):1031–1045. doi: 10.1111/jvim.14356
7. Griffin S. Feline abdominal ultrasonography: what's normal? what's abnormal? The liver. *J Feline Med Surg*. 2019;21(1):12–24. doi: 10.1177/1098612X18818666
8. Hirose N, Uchida K, Kanemoto H, Ohno K, Chambers JK, Nakayama H. A retrospective histopathological survey on canine and feline liver diseases at the University of Tokyo between 2006 and 2012. *J Vet Med Sci*. 2014;76(7):1015–1020. doi: 10.1292/jvms.14-0083
9. Koster L, Shell L, Illanes O, Lathroum C, Neuville K, Ketzis J. Percutaneous Ultrasound-guided Cholecystocentesis and Bile Analysis for the Detection of *Platynosomum* spp.-Induced Cholangitis in Cats. *J Vet Intern Med*. 2016;30(3):787–793. doi: 10.1111/jvim.13943
10. Ma HD, Zhao ZB, Ma WT, Liu QZ, Gao CY, Li L, et al. Gut microbiota translocation promotes autoimmune cholangitis. *J Autoimmun*. 2018;95:47–57. doi: 10.1016/j.jaut.2018.09.010
11. Oguz S, Salt O, Ibis AC, Gurcan S, Albayrak D, Yalta T, Sagiroglu T, Erenoglu C. Combined Effectiveness of Honey and Immunonutrition on Bacterial Translocation Secondary to Obstructive Jaundice in Rats: Experimental Study. *Med Sci Monit*. 2018;24:3374–3381. doi: 10.12659/MSM.907977
12. Otte CM, Rothuizen J, Favier RP, Penning LC, Vreman S. A morphological and immunohistochemical study of the effects of prednisolone or ursodeoxycholic acid on liver histology in feline lymphocytic cholangitis. *J Feline Med Surg*. 2014;16(10):796–804. doi: 10.1177/1098612X14520811
13. Peters LM, Glanemann B, Garden OA, Szladovits B. Cytological Findings of 140 Bile Samples from Dogs and Cats and Associated Clinical Pathological Data. *J Vet Intern Med*. 2016;30(1):123–131. doi: 10.1111/jvim.13645
14. Rocha NO, Portela RW, Camargo SS, Souza WR, Carvalho GC, Bahiense TC. Comparison of two coproparasitological techniques for the detection of *Platynosomum* sp. infection in cats. *Vet Parasitol*. 2014;204(3–4):392–395. doi: 10.1016/j.vetpar.2014.04.022
15. Simpson KW, Fyfe J, Cornetta A, Sachs A, Strauss-Ayali D, Lamb SV, Reimers TJ. Subnormal concentrations of serum cobalamin (vitamin B12) in cats with gastrointestinal disease. *J Vet Intern Med*. 2001;15(1):26–32. doi: 10.1892/0891-6640(2001)015<0026:scosc>2.3.co;2
16. Trehy MR, German AJ, Silvestrini P, Serrano G, Batchelor DJ. Hypercobalaminemia is associated with hepatic and neoplastic disease in cats: a cross sectional study. *BMC Vet Res*. 2014;10:175. doi: 10.1186/s12917-014-0175-x
17. Twedt DC, Cullen J, McCord K, Janeczko S, Dudak J, Simpson K. Evaluation of fluorescence in situ hybridization for the detection of bacteria in feline inflammatory liver disease. *J Feline Med Surg*. 2014;16(2):109–117. doi: 10.1177/1098612X13498249
18. Tzounos CE, Tivers MS, Adamantos SE, English K, Rees AL, Lipscomb VJ. Haematology and coagulation profiles in cats with congenital portosystemic shunts. *J Feline Med Surg*. 2017;19(12):1290–1296. doi: 10.1177/1098612X17693490

About authors:

Rudenko Andrey Anatolyevich — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Veterinary Medicine, Moscow State University of Food Production, 2/1 Spartakovskiy pereulok st., Moscow, 105082, Russian Federation; Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: vetrudek@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6434-3497

Usenko Denis Sergeevich — Post-graduate student, Department of Infectious Diseases and Forensic Veterinary Medicine, Lugansk State Agrarian University, 1 LNAU town, Artemovsky district, Lugansk, 91008, Lugansk People's Republic, Russian Federation; e-mail: den-usenko@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-3757-9998

Karamyan Arfenia Semenovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: karamyan-as@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-2112-673

Krotova Elena Alexandrovna — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: krotova-ea@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-1771-6091

Rogov Roman Vasilyevich — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: rogov-rv@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-3010-5714

Prozorovskiy Ivan Ezhevich — Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: prozorovskiy-ie@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-1849-3849

Лечение кошек при холангиогепатите

А.А. Руденко^{1,2}  , **А.С. Карамян**¹ , **Д.С. Усенко**³ ,
Е.А. Кротова¹ , **Р.В. Рогов**¹ , **И.Е. Прозоровский**¹ 

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

²Московский государственный университет пищевых производств,
г. Москва, Российская Федерация

³Луганский государственный аграрный университет, г. Луганск, Российская Федерация
 vetrudek@yandex.ru

Аннотация. Острый бактериальный холангиогепатит кошек представляет собой чрезвычайно распространенную патологию, связанную с воспалением паренхимы печени и желчных протоков, характеризующуюся развитием гепатодепрессивного синдрома (гипоальбуминемии), цитолиза (повышение активности аспарагиновой и аланиновой трансаминазы в сыворотке крови), холестаза (повышение сывороточной концентрации билирубина, холестерина, активности гамма-глутамилтранспептидазы и щелочной фосфатазы), интоксикации, дегидратации, мезенхимально-воспалительного и болевого синдромов. Цель исследования — изучить эффективность лечения кошек с острым бактериальным холангиогепатитом при средней степени тяжести течения патологии. Согласно критериям включения и исключения в исследование проводили на группе кошек (n = 12) с острым бактериальным холангиогепатитом. Использовали клинические, гематологические, ультразвуковые, статистические методы исследования. У больных кошек при средней форме холангиогепатита при назначении в составе комплексной терапии комбинация метронидазола, марбофлоксацина, урсодезоксихолевой кислоты, токоферола ацетата, цианкоболамина при инфузионном введении оказывала хороший терапевтический эффект, что сопровождалось улучшением клинико-лабораторных показателей. В крови кошек

с холангиогепатитом на фоне интенсивной терапии наблюдалось достоверное снижение количества лейкоцитов, скорости оседания эритроцитов, а в сыворотке крови — повышение концентрации альбумина, снижение активности аминотрансферазы, гамма-глутамилтранспептидазы, щелочной фосфатазы, липазы, концентрации креатинина.

Ключевые слова: холангит, гепатит, эффективность лечения, анальгезия, марбофлоксацин, метрогил, урдезоксиколовая кислота, лидокаин, маропитант, габапентин

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

История статьи: поступила в редакцию 23 апреля 2021 г., принята к публикации 14 ноября 2022 г.

Для цитирования: Rudenko A.A., Karamyran A.S., Usenko D.S., Krotova E.A., Rogov R.V., Prozorovskiy I.E. Treatment for cholangiohepatitis in cats // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 18. № 1. С. 135—144. doi: 10.22363/2312-797X-2023-18-1-135-144

Об авторах:

Руденко Андрей Анатольевич — доктор ветеринарных наук, профессор, кафедра ветеринарной медицины, Московский государственный университет пищевых производств, Российская Федерация, 105082, г. Москва, ул. Спартаковский переулок, д. 2/1; доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: vetrudek@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6434-3497

Усенко Денис Сергеевич — аспирант кафедры инфекционных болезней и судебной ветеринарной медицины, Луганский государственный аграрный университет, Российская Федерация, 91008, Луганская Народная Республика, г. Луганск, Артемовский район, д. 1; e-mail: den-usenko@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-3757-9998

Карамян Арфения Семеновна — 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: karamyran-as@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-2112-673

Кротова Елена Александровна — 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: krotova-ea@rudn.ru
ORCID: 0000-0003-1771-6091

Рогов Роман Васильевич — 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: rogov-rv@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-3010-5714

Прозоровский Иван Ежиевич — доцент, департамент ветеринарной медицины, аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: prozorovskiy-ie@rudn.ru
ORCID: 0000-0002-1849-3849