



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2020 Том 15 № 4

DOI: 10.22363/2312-797X-2020-15-4

agrojournal.rudn.ru

Научный журнал

Издается с 2006 г.

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

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

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

Главный редактор

Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук,
профессор АТИ РУДН,
Москва, Российская Федерация
E-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru

Заместитель главного редактора

Докукин П.А., канд. техн. наук,
доцент Агроинженерного
департамента АТИ РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: dokukin-pa@rudn.ru

Ответственный секретарь

Терехин А.А., канд. с.-х. наук,
доцент АТИ РУДН, Москва,
Российская Федерация
E-mail: terekhin-aa@rudn.ru

Члены редакционной коллегии

Аббоуд-Аби Сааб М., д-р филос. (биология), ведущий научный сотрудник, Национальный центр исследований морской фауны Ливана, Бейрут, Ливан

Акимов В.А., д-р тех. наук, проф., главный научный сотрудник, ВНИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, РФ

Алтишулер А.М., д-р мед. и общ. наук, проф., Научно-исследовательский институт по чрезвычайным ситуациям, Израиль

Аун Жорж Э., профессор, Государственный университет Ливана, Бейрут, Ливан

Ашайеризаде О., PhD, доцент, Горганский университет сельскохозяйственных наук и природных ресурсов, Горган, Иран

Бабински Л., PhD, проф., Дебреценский университет, Дебрецен, Венгрия

Балестра Д.М., д-р филос. (биология), проф., ведущий научный сотрудник, Университет Тушии, Италия

Бородичев В.В., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, Волгоградский филиал ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, Волгоград, РФ

Валентини Р., д-р биол. наук, проф., Университет Тушии, Витербо, Италия

Ватников Ю.А., д-р вет. наук, проф., РУДН, Москва, РФ

Гитас И., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

Донник И.М., академик РАН, вице-президент РАН, Москва, РФ

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

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

Зволинский В.П., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, директор, Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия, п. Соленое Займище, Астраханская обл., РФ

Игнатов А.Н., д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «Биоинженерия» РАН, Москва, РФ

Карвальо П.А., PhD, проф., Университет Бразилиа, Бразилиа

Ковеос Д., PhD, проф., декан факультета сельского хозяйства и природных ресурсов, Университет Аристотеля г. Салоники, Греция

Комитов Б., PhD, проф., Институт астрономии Болгарской академии наук, София, Болгария

Кузнецов Вл.В., д-р биол. наук, проф., чл.-кор. РАН, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ

Левин Е.А., канд. техн. наук, доц., Мичиганский технологический университет, Мичиган-Сити, США

Мадзалья А., д-р филос. (биология), проф., научный сотрудник, Университет Тушии, Италия

Медавэр С., проф., декан сельскохозяйственного факультета, Ливанский государственный университет, Бейрут, Ливан

Новиков А.Е., д-р техн. наук, проф., Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, РФ

Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, профессор, чл.-кор. РАН, Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, РФ

Савин И.Ю., д-р с.-х. наук, проф., чл.-кор. РАН, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, РФ

Статакис Д., PhD, проф., департамент планирования и регионального развития, Университет Фессалии, Волос, Греция

Сычѳв В.Г., д-р с.-х. наук, академик РАН, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, Москва, РФ

Уша Б.В., д-р вет. наук, заслуженный деятель науки и техники РФ, академик РАН, Институт ветеринарии, ветеринарно-санитарной экспертизы и агробезопасности, Московский государственный университет пищевых производств, Москва, РФ

Чамурлиев Г.О., зам. отв. секретаря редколлегии, канд. с.-х. наук, РУДН, Москва, РФ

Шаад Н.В., д-р филос. (биология), проф., ведущий бактериолог, Министерство сельского хозяйства США, Вашингтон, США

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

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

4 выпуска в год.

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

Языки: русский, английский.

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

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

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

Журнал рекомендован диссертационными советами РУДН; входит в перечень изданий, публикации которых учитываются Высшей аттестационной комиссией России (ВАК РФ) при защите диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по специальностям: 03.02.01 Ботаника, 03.02.13 Почвоведение, 06.01.01 Общее земледелие растениеводство, 06.01.02 Мелиорация, рекультивация и охрана земель, 06.01.04 Агрохимия, 06.01.05 Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений, 06.01.06 Луговоеводство и лекарственные эфирномасличные культуры, 06.01.07 Защита растений, 06.01.09 Овощеводство, 06.02.01 Диагностика болезней и терапия животных, патология, онкология и морфология животных (ветеринарные науки), 06.02.02 Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология (ветеринарные науки), 06.02.04 Ветеринарная хирургия (ветеринарные науки), 06.02.07 Разведение селекция и генетика сельскохозяйственных животных (сельскохозяйственные науки), 06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства (сельскохозяйственные 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 25.12.2020. Выход в свет 28.12.2020. Формат 70×100/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times, Roboto».
Усл. печ. л. 7,96. Тираж 500 экз. Заказ № 1051. 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

2020 VOLUME 15 No. 4
DOI: 10.22363/2312-797X-2020-15-4
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

EDITOR-IN-CHIEF

Prof. Dr V.G. Plyushchikov
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: pliuschchikov-vg@rudn.ru

DEPUTY CHIEF EDITOR

Dr P.A. Dokukin
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: dokukin-pa@rudn.ru

EXECUTIVE SECRETARY

Dr A.A. Terekhin
RUDN University, Moscow, Russian
Federation
E-mail: terekhin-aa@rudn.ru

EDITORIAL BOARD

Marie Abboud-Abi Saab, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, National Centre of Sea Animals Research of Lebanon, Beirut, Lebanon

Valeriy A. Akimov, Professor, Dr of Technical Sciences, Chief Researcher, All-Russian Institute for Research of Civil Defense and Emergencies Situations of the Emergencies Ministry of Russia, Moscow, Russian Federation

Aleksandr M. Altshuler, Dr of Medical and Social Sciences, Professor, Emergency Research Institute, Israel

Georges Emilo Aoun, Professor, Lebanese University, Beirut, Lebanon

Omid Ashayerizadeh, PhD, Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran

Laszlo Babinszky, PhD, Professor, University of Debrecen, Debrecen, Hungary

Giorgio M. Balestra, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Leading Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy

Viktor V. Borodychev, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Volgograd Branch of Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation, Volgograd, Russian Federation

Georgiy O. Chamurliiev, Deputy Executive Secretary, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Agricultural Engineering Department, Agrarian Technological Institute, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Paulo A. Carvalho, PhD, Professor, University of Brasilia, Brazil

Irina M. Donnik, Academician of RAS, Vice-president of RAS, Moscow, Russian Federation

Nikolay N. Dubenok, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy of Timiryazev, Moscow, Russian Federation

Sergey N. Elanskiy, Professor, Dr Biology science, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

Ioannis Gitas, PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Aleksandr N. Ignatov, Professor, Dr of Biological Sciences, Leading Researcher, Research Centre "Bioengineering", RAS, Moscow, Russian Federation

Dimitris Koveos, Professor, PhD, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Boris Komitov, PhD, Professor, Institute of Astronomy of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

Vladimir V. Kuznetsov, Professor, Dr of Biological Sciences, Corresponding Member of RAS, Timiryazev Institute of Plant Physiology, Moscow, Russian Federation

Eugene A. Levin, Associate professor, PhD in Photogrammetry, Michigan Technological University, United States

Angelo Mazzaglia, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), Researcher, University of Tuscia, Viterbo, Italy

Samir Medawar, Professor, dean of the Agricultural Faculty, Lebanese University, Beirut, Lebanon

Andrey E. Novikov, Dr of Technical Sciences, Department of Processes and Apparatus of Chemical and Food Production, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

Aleksey S. Ovchinnikov, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

Igor Y. Savin, Professor, Dr of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the RAS, Soil Institute of V.V. Dokuchaev, Moscow, Russian Federation

Viktor G. Sychev, Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the RAS, director, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry RAS, Moscow, Russian Federation

Norman V. Schaad, Professor, PhD, Dr of Philosophy (Biology), USA Ministry of Agriculture, Washington, United States

Dimitris Stathakis, Professor, PhD, University of Thessaly, Volos city, Greece

Boris V. Usha, Honoured Scientist of Russia, Academician of RAS, Dr of Veterinary Sciences, Professor, Institute of Veterinary Expertise, Sanitary and Ecology, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation

Ricardo Valentini, Professor, Dr of Biological Sciences, Tuscia University, Italy

Yuriy A. Vatinov, Professor, Dr of Veterinary Sciences, Veterinary Medicine of ATI, RUDN University, Moscow, Russian Federation

Vyacheslav P. Zvolinskiy, Dr of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the RAS, director, Caspian Research Institute of Arid Agriculture, Solenoye Zajmishche city, 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: 4 issues per year

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

Languages: Russian, English

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

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

Растениеводство

Кабанов А.Н., Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С. Изучение особенностей водного режима и пылеудерживающей способности культур *Betula pendula* Roth. в Северном Казахстане..... 325

Гаджикурбанов А.Ш. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность и качество зеленой массы сортов озимого рапса..... 335

Толоконников В.В., Канцер Г.П., Кошкарова Т.С., Чамурлиев Г.О. Продуктивность сортов сои при различных режимах орошения..... 343

Защита растений

Mahmoudi N., Pakina E.N., Limantceva L.A., Ivanov A.V. Diagnosis of potato rot nematode *Ditylenchus destructor* using PCR-RFLP (Диагностика стеблевой нематоды картофеля *Ditylenchus destructor* с использованием PCR-RFLP)..... 353

Почвоведение и агрохимия

Савин И.Ю., Габдуллин Б.С. Особенности многолетней динамики общей обводненности территории Белгородской области, выявляемые по спутниковым данным GRACE..... 363

Животноводство

Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Андрианова Д.В., Рысцова Е.О., Кондрашкина К.М. Влияние пробиотика СУБ-ПРО на мясную продуктивность цыплят-бройлеров..... 375

Ветеринария

Денисенко В.Н., Алабед А.М., Зуева Н.М. Сочетанные патологии печени, почек и поджелудочной железы у домашних кошек 391

Ширяев Г.В., Станиславович Т.И., Политов В.П. Кетоз и его роль в нарушении репродуктивной функции *Bos Taurus*..... 403

Contents

Crop production

- Kabanov A.N., Kabanova S.A., Danchenko M.A., Kochegarov I.S.**
Water regime and dust retention capacity of silver birch
Betula pendula Roth. in Northern Kazakhstan 325
- Gadzhikurbanov A.Sh.** Influence of basic soil tillage methods on fresh
yield and quality of winter rape cultivars 335
- Tolokonnikov V.V., Kancer G.P., Koshkarova T.S., Chamurliev G.O.**
Productivity of soybean varieties under different irrigation regimes 343

Plant protection

- Mahmoudi N., Pakina E.N., Limantceva L.A., Ivanov A.V.** Diagnosis of potato
rot nematode *Ditylenchus destructor* using PCR-RFLP 353

Soil science and agrochemistry

- Savin I.Yu., Gabdullin B.S.** Specifics of long-term dynamics
of terrestrial water storage detected using GRACE satellite in Belgorod region 363

Animal breeding

- Nikitchenko D.V., Nikitchenko V.E., Andrianova D.V., Ristsova E.O.,
Kondrashkina K.M.** Influence of SUB-PRO probiotic on meat productivity of broiler
chickens..... 375

Veterinary science

- Denisenko V.N., Alabed A.M., Zueva N.M.** Combined
pathologies of liver, kidneys and pancreas in domestic cats..... 391
- Shiryaev G.V., Stanislavovich T.I., Politov V.P.** Ketosis and its role in *Bos taurus*
reproductive impairment..... 403

Растениеводство Crop production

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-325-334
УДК 630.181.3:581.1

Научная статья / Research article

Изучение особенностей водного режима и пылеудерживающей способности культур *Betula pendula* Roth. в Северном Казахстане

А.Н. Кабанов^{1*}, С.А. Кабанова¹, М.А. Данченко², И.С. Кочегаров¹

¹Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации,
г. Щучинск, Казахстан

²Томский государственный университет, г. Томск, Российская Федерация
*ankabn@mail.ru

Аннотация. Цель исследований — определение водного режима и выявление характера пылеудерживающей способности ассимиляционного аппарата искусственных березовых насаждений в зеленой зоне г. Нур-Султана (Северный Казахстан). Объект исследований — 16-летние лесные культуры *Betula pendula* Roth., часть которых была пересажена в 8-летнем возрасте в межкулисное пространство. Рассмотрены некоторые особенности водного режима лесных культур для определения адаптационной способности к почвенно-климатическим условиям произрастания. Изучены интенсивность транспирации листьев, относительное содержание воды в листьях, уровень водного дефицита. При выполнении наблюдений установлено, что на пробных площадях в пересаженных и непересаженных культурах нет достоверного различия между показателями водного режима, поэтому результаты исследований приведены без учета особенностей места закладки пробных площадей. Выявлена высокая водоудерживающая способность листьев рассматриваемых культур, которая составила 96,98 %. Интенсивность транспирации в среднем за вегетационный период была в пределах 176 мг/г·ч, при этом наибольший средний показатель интенсивности транспирации (229 мг/г·ч) выявлен в июле, наименьший — в августе (162 мг/г·ч). Сделан вывод о слабой интенсивности испарения влаги листьями, что говорит о низком водном дефиците рассматриваемых культур, который составил 8,96 % при полном насыщении листа влагой. При определении соотношения осевшей пыли и площади листьев березы повислой установлено, что на единицу площади ассимиляционного аппарата (1 см²) в среднем по пробным площадям оседает 0,1 мг пыли. При определении количества осевшей пыли выявлено, что на высоком местоположении на единицу площади ассимиляционного аппарата оседает пыли больше, чем на низком. Наибольшее количество пыли (0,117 мг/см²) осаживалось на отдаленности в 1000 м от автомагистрали, наименьшее (0,091 мг/см²) — на расстоянии

© Кабанов А.Н., Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

200 м. На данный факт повлияли особенности рельефа местности и наличие защитной полосы перед культурами березы. При проведении исследований установлено, что большая площадь листа не является гарантией лучшей пылеудерживающей способности.

Ключевые слова: *Betula pendula* Roth., транспирация, водный дефицит, пылеудерживающая способность

Заявление о конфликте интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 13 февраля 2020 г. Принята к публикации: 2 июня 2020 г.

Для цитирования:

Кабанов А.Н., Кабанова С.А., Данченко М.А., Кочегаров И.С. Изучение особенностей водного режима и пылеудерживающей способности культур *Betula pendula* Roth. в Северном Казахстане // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 325—334. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-325-334

Water regime and dust retention capacity of silver birch *Betula pendula* Roth. in Northern Kazakhstan

Andrey N. Kabanov^{1*}, Svetlana A. Kabanova¹, Matvey A. Danchenko²,
Igor S. Kochegarov¹

¹Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, Shchuchinsk, Kazakhstan

²Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

*Corresponding author: ankabn@mail.ru

Abstract. The purpose of the research was to determine the water regime and identify the nature of dust retention capacity of assimilation apparatus in artificial birch stands in green zone of Nur-Sultan (Northern Kazakhstan). The objects of the research were 16-year-old *Betula pendula* Roth. forest crops, some of which were transplanted at the age of 8 into the interrow space. Some water regime features of forest crops were considered to determine their adaptive ability to soil and climatic conditions. The intensity of leaf transpiration, relative water content in leaves, and water deficiency were studied. When making observations, it was found that there was no reliable difference between the water regime indicators in the sample areas in transplanted and non-transplanted crops. So, the results of the research are presented without taking into account peculiarities of the sample area location. A high water-holding capacity of the plant leaves was revealed, it amounted 96.98 %. The average transpiration rate during the growing season was 176 mg/g · h, with the highest average transpiration rate (229 mg/g · h) detected in July, and the lowest in August (162 mg/g · h). The data obtained showed weak intensity of moisture evaporation by leaves. This indicates a low water deficit of the plants, which was 8.96 % after leaf was fully saturated with moisture. Ratio of retained dust and leaf area of silver birch showed that 1 cm² of assimilation apparatus accumulated on average 0.1 mg of particulate matter. The amount of dust revealed that at a high location, more particulate matter is accumulated per unit area of assimilation apparatus than at a low location. The largest amount of dust (0.117 mg/cm²) was deposited at a distance of 1000 meters from the highway, and the smallest amount (0.091 mg/cm²) — at a distance of 200 meters. Topographic features and presence of protective birch strip influenced this fact. The research revealed that a large leaf area is not a guarantee of high dust retention capacity.

Keywords: *Betula pendula* Roth., transpiration, water deficiency, dust retention capacity

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

Article history:

Received: 13 February 2020. Accepted: 2 June 2020

For citation:

Kabanov AN, Kabanova SA, Danchenko MA, Kochegarov IS. Water regime and dust accumulation capacity of silver birch *Betula pendula* Roth. in Northern Kazakhstan. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):325—334. (In Russ). doi: 10.22363/2312–797X-2020–15–4–325–334

Введение

Значимость зеленых насаждений при развивающейся инфраструктуре современных мегаполисов не вызывает сомнения. Многими авторами приводится полезность зеленых насаждений в условиях городской среды, промышленных предприятий, фермерских хозяйств. Зеленые насаждения выполняют санитарно-гигиенические, декоративно-планировочные функции для городской среды [1]. В искусственных насаждениях постепенно формируется лесная среда, образуется плодородный слой почвы, создается благоприятный микроклимат для роста растений. Известно, что зеленые насаждения уменьшают вредную концентрацию находящихся в воздухе токсичных газов, пыли, защищают почву от перегрева, испаряют в воздух большое количество влаги, создают воздушные потоки и значительно снижают уровень шума [2, 3]. Но не все растения обладают высокими фильтрующими способностями, и это необходимо учитывать при подборе ассортимента пород для создания зеленых насаждений. Изучение водного режима растений продолжает вызывать большой интерес у исследователей. Проблемы засухоустойчивости, водного режима и физиологии растений привлекает внимание ученых по всему миру [4, 5]. Изучается зависимость водного потенциала от климатических условий местопроизрастания создаваемых культур [6], влияние на произрастание в условиях антропогенного воздействия [7]. В условиях резко-континентального климата с малоснежными зимами и засушливым летом для казахстанских исследователей остается актуальной задача внедрения засухоустойчивых древесных пород, а также наблюдение и улучшение продуктивности уже созданных, способных выполнять основные возлагаемые на них функции.

Цель исследований — определение водного режима и выявление характера пылеудерживающей способности ассимиляционного аппарата искусственных березовых насаждений в зеленой зоне г. Нур-Султана (Северный Казахстан).

Материалы и методы

Объектом наблюдений выбраны 16-летние лесные культуры *Betula pendula* Roth., часть которых была пересажена в 8-летнем возрасте в межкулисное пространство. Культуры березы повислой располагаются в зеленой зоне г. Нур-Султана, в Есильском районе, вблизи Коргалжинского шоссе, которое и является источником загрязнения. Здесь присутствуют вредные выбросы систем внутреннего сгорания при движении автотранспорта (CO_2), поскольку довольно эффективным средством борьбы с данной проблемой признано создание полос зеленых насаждений [8, 9], это и было сделано. В 2011 г. в данных культурах проведено прореживание методом выкопки деревьев из первых рядов рядом расположенных кулис с последующей посадкой в межкулисные пространства крупномерным посадочным материалом [10]. В связи с этим пробные площади были разделены на непересаженные и пересаженные, а с учетом особенностей рельефа — на местопроизрастание высокое и низкое. Всего были заложены четыре пробные площади (ПП) размером 16×48 м.

Климат района наблюдений — резко-континентальный, среднегодовая температура воздуха в 2019 г. составила 4,9 °С, относительная влажность воздуха — 67 %, наименьшая влажность наблюдалась в июне — 53 % [11].

Приоритетным направлением исследований являлось изучение водного баланса растений в условиях недостаточного водоснабжения, так как лесные культуры березы повислой выращиваются без полива в достаточно сухих условиях произрастания. Основу водного баланса растений составляет соотношение между поступлением воды из почвы и ее расходом — транспирацией. Непрерывное поглощение требуемого объема влаги и расходование ее при транспирации имеет существенное значение для роста и более того, выживания растения [12]. В связи с этим интенсивность транспирации необходимо изучать как один из наиболее важных физиологических процессов, определяющих продуктивность насаждений [13]. Устойчивость растений к отрицательным экологическим факторам определяли по следующим методикам [14]. Для определения транспирирующей способности листьев березы повислой, водного насыщения и содержания воды образцы листовых пластинок брали из средней и нижней части кроны, с вегетационного побега, предшествующего году исследования, как наиболее полно развитого по морфологическим признакам материала. Сбор материалов для исследований осуществляли в конце каждого месяца вегетационного периода (июнь-август), в утренние, полуденные и вечерние часы. По методу быстрого взвешивания Л.А. Иванова [15] проводили измерения интенсивности транспирации. В полевых условиях взвешивание выполнялось при помощи торсионных весов марки ВТ-500 с точностью измерения до 1 мг. Первое взвешивание проводили непосредственно после отделения листовой пластинки от побега, а второе — по истечении 3 мин после первого при выдерживании образца на рассеянном свете.

Интенсивность транспирации рассчитывали по формуле

$$ИТ = \frac{(M1 - P2)60}{M1 \cdot 3} 1000, \quad (1)$$

где ИТ — интенсивность транспирации; M1 — масса листа сразу после снятия с побега, мг; P2 — масса листа после 3-минутного подсушивания, мг.

Для определения водного дефицита образцы листовых пластинок взвешивали сразу после отделения от побега, затем помещали в емкости с водой для полного насыщения водой и по истечении 120 мин взвешивали повторно. Затем образцы высушивали полностью и получали третий требуемый показатель. Водный дефицит рассчитывали по формуле

$$ВД = \left(\frac{M1 - H}{M1 - M} \right) 100 \% \quad (2)$$

где ВД — водный дефицит, %; M1 — масса листа сразу после снятия с побега, мг; H2 — масса листа после 2-часового насыщения, мг; M3 — масса абсолютно сухого листа, мг.

Относительное содержание воды определяли по формуле

$$\text{ОСВ} = \frac{M1 - M3}{H - M3} 100 \%, \quad (3)$$

где ОСВ — относительное содержание воды в листьях, %; M1 — масса листа сразу после снятия с побега, мг; H2 — масса листа после 2-часового насыщения, мг; M3 — масса абсолютно сухого листа, мг.

Как известно, водный дефицит проявляется при недостаточном обеспечении вегетативных органов растений водой, когда интенсивность транспирации превышает ее поступление из корневой системы [16]. Достаточное водоснабжение является обязательным критерием правильного обмена веществ в организме. Внешние признаки завядания не могут служить показателями нарушения водного баланса, для этого в экологических исследованиях целесообразнее вычислять дефицит водного насыщения и относительное содержание воды в растении.

При условии, когда транспирационные потери превышают количество поступающей воды к корням, возникает водный дефицит, уменьшение роста и прироста, завядание, снижение фотосинтеза и в целом ухудшение жизнедеятельности, что в дальнейшем влечет снижение продуктивности, устойчивости и возможную гибель растения. Выявлено, что на величину транспирации в значительной мере влияет влажность почвы — с уменьшением содержания влаги в почве соответственно уменьшается и величина транспирации.

Пылеулавливающая способность определялась по количеству пыли, осевшей на листьях. Для этого после сбора листья помещали в емкость с 50 мл воды, где происходило смывание пыли. Затем на заранее взвешенный лист фильтровальной бумаги сливали воду с пылью. После полной фильтрации фильтр высушивали и взвешивали повторно. По разнице в массе определяли количество загрязнений на листьях. Удельную пылеемкость вычисляли как отношение массы пыли к площади листьев. Площадь ассимиляционного аппарата вычисляли весовым способом. Для этого взвешивают квадрат из кальки размером 10×10 см, контур листа переводят на кальку, вырезают и повторно взвешивают. Далее по пропорции рассчитывают площадь листа.

Результаты исследований и обсуждение

Удержание растениями накопленной в своем теле влаги в течение определенного времени характеризуется водоудерживающей способностью. Водоудерживающая способность напрямую зависит от скорости испарения воды из тканей, что в свою очередь определяется строением цитоплазмы. Следовательно, чем продолжительнее растение может выносить обезвоживание, тем выше его водоудерживающая способность [7, 17]. В табл. 1 приведены полученные в результате исследований данные. При выполнении наблюдений установлено, что на пробных площадях в пересаженных и непересаженных культурах нет достоверного различия ($t_{\phi} = 1,50 < t_{01} = 1,65$) между показателями водного режима, поэтому результаты исследований приведены без учета особенностей места закладки пробных площадей. Можно предположить, что пересадка деревьев не повлияла на существенные изменения водного обмена в растениях.

Таблица 1

Показатели водного обмена березы повислой

Показатели	Значения
Относительное содержание воды, %	61,85
Водопотеря, %	3,02
Интенсивность транспирации, мг/г·ч	176
Водный дефицит, %	8,96
Водоудерживающая способность, %	96,98
Коэффициент водоудерживающей способности, %	28,38
Водоёмкость, %	56,58

Table 1

Water metrics of *Betula pendula* Roth.

Indicators	Values
Relative water content, %	61.85
Water loss, %	3.02
Transpiration rate, mg /g·h	176
Water deficit, %	8.96
Water holding capacity, %	96.98
Water retention coefficient, %	28.38
Water capacity, %	56.58

Выявлено, что береза обладает высокой водоудерживающей способностью в условиях засушливого климата — 96,98 %, листья березы повислой за 1 час теряли воду только на 3,02 %. Полученные данные подтверждают значениями коэффициента водоудерживающей способности и говорят о высокой приспособленности растений к потерям воды. Следует отметить, что в июне выпало наибольшее количество осадков за весь вегетационный период (64 мм) при среднемесячной температуре воздуха +17,5 °С, в зависимости от данных факторов был выявлен наименьший показатель водного дефицита культур березы — 8,38 %. Средний показатель водного дефицита за вегетационный период составил 8,96 %. Листья березы повислой в среднем содержали 61,85 % воды.

Для различных пород деревьев имеются видовые особенности их транспирирующей способности, связанные со строением устьиц, их размером и числом. Как известно, интенсивность транспирации не только варьирует в пределах суток, но и изменяется в течение всего вегетационного периода. При анализе транспирирующей способности березы повислой наибольший средний показатель интенсивности транспирации (229 мг/г·ч) был выявлен в июле, наименьший — в августе (162 мг/г·ч). В среднем за вегетационный период величина интенсивности транспирации культур березы повислой составила 176 мг на грамм сухого вещества в час. Полученные данные указывают на низкую транспирирующую способность культур березы повислой.

Ассимиляционный аппарат березы повислой обладает высокой водоемкостью (56,58 %) и характеризуется максимальной способностью насыщения листьев водой. Данный показатель коррелирует с активностью воды в тканях растений, следовательно, береза повислая характеризуется наиболее высокой жизнедеятельностью.

Свойство деревьев аккумулировать пыль зависит от особенностей листового аппарата и зависит от их биологических особенностей: опушенности листа, клейкости, наличия воскового налета, а так же климатических факторов: количества и характера выпадающих осадков, ветрового режима и др. [18, 19]. Например, у клена татарского с большей площадью листьев пыли собиралось меньше, чем у березы. Следовательно, размеры ассимиляционного аппарата не влияют на скопление пыли, в большей мере ее количество зависит от удаленности от источника загрязнения и густоты культур. Это подтверждается исследованиями других ученых.

Определена пылеудерживающая способность листьев березы повислой (табл. 2). Выявлено, что на низком местоположении (200 м от Коргалжинского шоссе) оседало 1,60 мг пыли на 13,78 см² (10 листьев). В расположенных в более отдаленном месте насаждениях листья березы собирали 1,71 мг пыли на 18,8 см². При выявлении соотношения осевшей пыли и площади листьев установлено, что на высоком местоположении на единицу площади ассимиляционного аппарата оседает пыли больше, чем на низком. Но следует отметить при этом, что на листьях пересаженных деревьев пыли оседало больше, чем у не пересаженных. На это могло повлиять более редкое расположение деревьев на площади. Среднее значение данного показателя без учета площади листьев было примерно одинаково на обоих местоположениях. Возможно, большее накопление пыли на верхнем местоположении обусловлено более открытым местом, в то время как в нижнем местоположении посадки закрыты от автомобильной трассы плотными рядами тополей.

Таблица 2

**Содержание пыли на ассимиляционном аппарате березы повислой
в лесных культурах**

Наименование породы	Площадь ассимиляционного аппарата, см ²	Показатели		Местонахождение участка
		Масса удержанной пыли, мг	Удельная пылеемкость, мг/см ²	
Береза повислая	18,80	1,7109	0,091	200 м от трассы
Береза повислая	13,78	1,6055	0,117	1000 м от трассы

Table 2

Dust content on *Betula pendula* Roth. assimilation apparatus in forest crops

Species	Area of assimilation apparatus, cm ²	Indicators		Site location
		Mass of retained dust, mg	Dust retention capacity mg/cm ²	
<i>Betula pendula</i> Roth.	18.80	1.7109	0.091	200 m from highway
<i>Betula pendula</i> Roth.	13.78	1.6055	0.117	1000 m from highway

Заключение

На основании полученных данных установлено, что береза обладает высокой водоудерживающей способностью в условиях засушливого климата — 96,98 %. По результатам исследований водного дефицита в культурах березы повислой выявлено не было, приведенные показатели для данной породы находятся в пределах нормы. За вегетационный период средний показатель водного дефицита составил 8,96 %.

Пылеудерживающая способность листьев березы повислой составила в среднем 0,1 мг/см². Выявлено, что размеры листовой пластинки растений не влияют на количество удерживания ими пыли. У березы повислой при меньшей площади листа пыли оседало больше, чем у образцов ассимиляционного аппарата клена татарского, взятых в аналогичных условиях и характеризующихся большей площадью листьев.

Библиографический список

1. *Беляева Ю.В.* Показатели флуктуирующей асимметрии *Betula pendula* Roth., в условиях антропогенного воздействия (на примере г.о. Тольятти) // Известия Самарского НЦ РАН. 2013. Т. 15. № 3 (7). С. 2196—2200.
2. *Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т.* Дендрология. М. : МГУЛ, 2003. 528 с.
3. *Татарникова В.Ю., Дашиева О.* Древесные растения и городская среда // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2009. № 23. С. 191—194.
4. *Lutter R., Tullus A., Kanal A., Tullus T., Vares A., Tullus H.* Growth development and plant—soil relations in midterm silver birch (*Betula pendula* Roth.) plantations on previous agricultural lands in hemiboreal Estonia // European Journal of Forest Research. 2015. № 134(4). P. 653—667. doi: 10.1007/s10342-015-0879-x
5. *Daugaviete M., Korica A.M., Silins I., Barsevskis A., Bardulis A., Bardule A., Spalvis K., Daugavietis M.* The use of mineral nutrients for biomass production by young birch stands and stands vitality in different forest growing conditions // Journal of Environmental Science and Engineering. 2015. В 4. P. 177—189. doi: 10.17265/2162-5263/2015.04.002
6. *Сенькина С.Н.* Водный потенциал ассимиляционного аппарата хвойных, как мера активности и состояния воды в растении // Вестник ИБ КОМИ НЦ УрО РАН. 2018. № 1 (203). С. 39—44.
7. *Беляева Ю.В.* Результаты исследования водоудерживающей способности листовых пластинок *Betula pendula* Roth., произрастающей в условиях антропогенного воздействия (на примере г. Тольятти) // Изв. Самар. НЦ РАН. 2014. Т. 16. № 5 (5). С. 1654—1659.
8. *Сергейчик С.А.* Газопоглотительная способность растений и аккумуляция в них элементов промышленных загрязнений // Оптимизация окружающей среды средствами озеленения. Минск : Наука и техника, 1985. С. 68—75.
9. *Данченко М.А.* Система лесоводственных мероприятий по повышению рекреационной емкости и устойчивости городских лесов // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 347. С. 156—158.
10. *Кабанова С.А., Нысанбаев Е.Н., Данченко М.А., Кабанов А.Н.* Итоги опытно-производственных работ по пересадке деревьев в межкулисные пространства и введению хвойных интродуцентов в зеленой зоне г. Астаны // Успехи современного естествознания. 2016. № 9. С. 56—61.
11. Погода и климат. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/35188.htm>
12. *Бюсген М.* Строение и жизнь наших лесных деревьев. М. : Гослесбумиздат, 1961. 424 с.
13. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.И.* Физиология древесных растений. М. : Лесная промышленность, 1974. 424 с.
14. *Кентбаева Б.А.* Методология научных исследований. Алматы : Нур-Принт, 2014. 209 с.
15. *Иванов Л.А., Силина А.А., Цельникер Ю.Л.* О методе быстрого взвешивания для определения транспирации в естественных условиях // Ботанический журнал. 1950. Т. 35. № 2. С. 171—185.

16. Пахомова Г.И., Безуглов В.К. Водный режим растений. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1980. 249 с.
17. Кавеленова Л.М. Проблемы организации системы фитомониторинга городской среды в условиях лесостепи. Самара : Универс групп, 2006. 223 с.
18. Бессонова В.П. Эффективность осаждения пылевых частиц листьями древесных и кустарниковых растений // Вопросы защиты природной среды и охрана труда в промышленности. Днепропетровск : ДГУ, 1993. С. 34—37.
19. Канелюш Н.В., Бессонова В.П. Пилоосажджуча роль *Platanus orientalis* й *Platanus acerifolia* у насажденнях санітарно-гігієнічного призначення // Науковий вісник Чернівецького університету: Збірник наукових праць. Вип. 343: Біологія. 2007. С. 88—97.

References

1. Belyaeva YV. Indicators of fluctuating asymmetry *Betula pendula* Roth. under anthropogenic impact (Tolyatti case). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013; 15(3-7):2196—2200. (In Russ).
2. Bulygin NE, Yarmishko VT. *Dendrologiya* [Dendrology]. 2nd ed. Moscow: MGUL publ.; 2003. (In Russ).
3. Tatarnikova VY, Dashieva O. Woody plants and urban environment. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2009; (23):191—194. (In Russ).
4. Lutter R, Tullus A, Kanal A, Tullus T, Vares A, Tullus H. Growth development and plant—soil relations in midterm silver birch (*Betula pendula* Roth) plantations on previous agricultural lands in hemiboreal Estonia. *European Journal of Forest Research*. 2015; 134(4):653—667. doi: 10.1007/s10342-015-0879-x
5. Daugaviete M, Korica AM, Silins I, Barsevskis A, Bardulis A, Bardule A, et al. The use of mineral nutrients for biomass production by young birch stands and stands vitality in different forest growing conditions. *Journal of Environmental Science and Engineering*. 2015; B4:177—189. doi: 10.17265/2162-5263/2015.04.002
6. Senkina SN. Water potential of the assimilation apparatus of coniferous as the measure of water activity and condition of water in plant. *Vestnik Insituta biologii Komi NC UrO RAN*. 2018; (1):39—44. (In Russ). doi: 10.31140/j.vestnikib.2018.1(203).11
7. Belyaeva YV. Results water-holding capacity of the leaf blades *Betula pendula* Roth., growing under anthropogenic impact (Tolyatti case). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014; 16(5-5):1654—1659. (In Russ).
8. Sergeichik SA. Gas absorption capacity of plants and the accumulation of elements of industrial pollution in them. In: *Optimizatsiya okruzhayushchei sredy sredstvami ozeleneniya* [Environmental optimization by means of gardening]. Minsk: Nauka i tekhnika publ.; 1985. p.68—75. (In Russ).
9. Danchenko MA. System of forestry measures to increase the recreational capacity and sustainability of urban forests. *Tomsk State University Journal*. 2011; (347):156—158. (In Russ).
10. Kabanova SA, Nyisanbaev EN, Danchenko MA, Kabanov AN. The results of pilot production work on transplanting trees into inter-backyard spaces and introducing coniferous introducers in the green zone of Astana. *Advances in current natural sciences*. 2016; (9):56—61. (In Russ).
11. *Pogoda i klimat*. Available from: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/35188.htm> [Accessed 11th February 2020]. (In Russ).
12. Byusgen M. *Stroenie i zhizn' nashikh lesnykh derev'ev* [Structure and life of our forest trees]. Moscow: Goslesbumizdat publ.; 1961. (In Russ).
13. Lir K, Polster G, Fidler GI. *Fiziologiya drevesnykh rastenii* [Physiology of woody plants]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' publ.; 1974. (In Russ).
14. Kentbaeva BA. *Metodologiya nauchnykh issledovaniy* [Research Methodology]. Almaty: Nur-print publ.; 2014. (In Russ).
15. Ivanov LA, Silina AA, Tselniker YL. Fast weighing method for determining transpiration in vivo. *Botanicheskii zhurnal*. 1950; 35(2):171—185. (In Russ).
16. Pahomova GI, Bezuglov VK. *Vodnyi rezhim rastenii* [Water regime of plants]. Kazan: KFU publ.; 1980. (In Russ).
17. Kavelenova LM. *Problemy organizatsii sistemy fitomonitoringa go-rodskoi sredy v usloviyakh lesostepi* [Problems of organizing a phytomonitoring system for forest-steppe urban environment]. Samara: Univers-grupp publ.; 2006. (In Russ).
18. Bessonova VP. Efficiency of dust deposition by leaves of trees and shrubs. In: *Voprosy zashchity prirodnoi sredy i okhrana truda v promyshlennosti* [Environmental protection and labor protection in industry]. Dnepropetrovsk: DGU publ.; 1993. p.34—37. (In Russ).
19. Kapelyush NV, Bessonova VP. Dust-deposition role of *Platanus orientalis* and *Platanus acerifolia* in sanitary plantations. *Naukovii visnik Chernivets'kogo universitetu: Zbirnik naukovikh prats' . Vypusk 343: Biologiya*. Chernovtsy; 2007; p.88—97. (In Ukr).

Об авторах:

Кабанов Андрей Николаевич — магистр экологии, научный сотрудник отдела воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Казахстан, 021704, Акмолинская обл., г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: ankabn@mail.ru

Кабанова Светлана Анатольевна — кандидат биологических наук, зав. отделом воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Казахстан, 021704, Акмолинская обл., г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: Kabanova.05@mail.ru

Данченко Матвей Анатольевич — кандидат географических наук, доцент кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства, Биологический институт, Томский государственный университет, Российская Федерация, 634050, г. Томск, ул. Ленина, д. 36; e-mail: mtd2005@sibmail.com

Кочегаров Игорь Сергеевич — младший научный сотрудник отдела воспроизводства лесов и лесоразведения, Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Казахстан, 021704, Акмолинская обл., г. Щучинск, ул. Кирова, д. 58; e-mail: garik_0188@mail.ru

About authors:

Kabanov Andrey Nikolaevich — Master of Ecology, Researcher, Department of Forest Reproduction and Afforestation, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirova st., Shchuchinsk, Akmola region, 021704, Kazakhstan; e-mail: ankabn@mail.ru

Kabanova Svetlana Anatolyevna — Candidate of Biological Sciences, head of Department of Forest Reproduction and Afforestation, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirova st., Shchuchinsk, Akmola region, 021704, Kazakhstan; e-mail: Kabanova.05@mail.ru

Danchenko Matvey Anatolyevich — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Forestry and Landscape Construction, Biological Institute, Tomsk State University, 36, Lenina st., Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: mtd2005@sibmail.com

Kochegarov Igor Sergeevich — junior researcher of the department of reproduction of forests and afforestation, Kazakh Research Institute of Forestry and Agroforestry, 58, Kirova st., Shchuchinsk, Akmola region, 021704, Kazakhstan; e-mail: garik_0188@mail.ru

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-335-342
УДК 633.853.494: 631.4]: 631.559

Научная статья / Research article

Влияние способов основной обработки почвы на урожайность и качество зеленой массы сортов озимого рапса

А.Ш. Гаджикурбанов

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

Аннотация. Разработка рациональной системы основной обработки почвы является гарантом формирования сельскохозяйственными культурами достаточно высоких урожаев. Для решения этих вопросов при возделывании сортов озимого рапса на светло-каштановых почвах Приморско-Каспийской подпровинции Республики Дагестан были проведены исследования в двухфакторном полевом опыте. В качестве объекта изучены сорта озимого рапса ВЭМ (стандарт), Элвис и Метеор. Изучены следующие способы обработки почвы: отвальная (контроль), безотвальная. В ходе проведенных исследований выявлено, что между вариантами обработки почвы не зафиксировано особой существенной разницы по агрофизическим показателям. Данные по засоренности посевов озимого рапса показали, что в случае применения безотвальной обработки почвы количество сорняков и их масса значительно увеличились. В фазу бутонизации количество сорняков было выше, чем на контроле (отвальная обработка) в 2,1 раза, а масса сорняков — в 1,88 раза. Во время цветения эти показатели были выше в 2,2 раза. Максимальные урожайные данные на всех вариантах опыта сформировал сорт Элвис — соответственно 44,9 и 41,4 т/га, что больше ВЭМ (стандарт) и сорта Метеор соответственно на 20,4 т/га (7,9 %) и 20,0 т/га (8,7 %). Урожайность сорта Метеор на этих вариантах также была высокой и составила 41,6 и 38,1 т/га. Прибавка по отношению к стандарту составила 11,5 и 10,4 %. Наибольшую прибавку зеленой массы обеспечила отвальная обработка почвы. В среднем по сортам по сравнению с безотвальной обработкой урожайность повысилась на 8,7 %. Наиболее высокие качественные показатели сформировал сорт Элвис, на второй позиции находится сорт Метеор.

Ключевые слова: основная обработка почвы, отвальная обработка, безотвальная обработка, озимый рапс, сорта, агрофизические свойства, засоренность посевов, урожайность, качество, светло-каштановые почвы

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

История статьи:

Поступила в редакцию: 12 октября 2020 г. Принята к публикации: 11 ноября 2020 г.

Для цитирования:

Гаджикурбанов А.Ш. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность и качество зеленой массы сортов озимого рапса // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 335—342. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-335-342

© Гаджикурбанов А.Ш., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Influence of basic soil tillage methods on fresh yield and quality of winter rape cultivars

Anvar Sh. Gadzhikurbanov

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation
Gadcgikurbanow@mail.ru

Abstract. The development of rational system of basic soil tillage results in formation of sufficiently high crop yields. A two-factor field experiment was carried out to address these issues when cultivating winter rape cultivars on light chestnut soils of the Primorsko-Caspian sub-province of the Republic of Dagestan. VEM (standard), Elvis and Meteor winter rape cultivars were studied in the experiment. The following methods of soil tillage were studied: real tillage (control), subsoil tillage. The research revealed that there was no significant difference in agrophysical indicators between the soil cultivation variants. Data on weed infestation of winter rape fields showed that the number of weeds and their weight increased significantly after subsoil tillage. At the budding stage, the number of weeds increased 2.1-fold compared to the control (real tillage), and the weight of weeds increased 1.88-fold. During flowering stage, these indicators were 2.2 times higher. The maximum yield in all variants of the experiment was formed by Elvis cultivar — 44.9 and 41.4 t/ha, respectively, which is more than VEM (standard) and Meteor cultivars by 20.4 t/ha (7.9 %) and 20.0 t/ha (8.7 %), respectively. The yield of Meteor cultivar in these variants was also high and amounted to 41.6 and 38.1 t/ha, respectively, which was higher by 11.5 and 10.4 % compared with the standard. The greatest increase in the fresh yield was provided by real tillage. On average, the yield increased by 8.7 % for varieties in comparison with subsoil cultivation. Elvis cultivar formed the best quality indicators, followed by Meteor cultivar.

Key words: basic soil tillage, real tillage, subsoil tillage, winter rape, cultivars, agrophysical indicators, weed infestation, yield, quality, light chestnut soils

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

Article history:

Received: 12 October 2020. Accepted: 11 November 2020

For citation:

Gadzhikurbanov ASh. Influence of basic soil tillage methods on fresh yield and quality of winter rape cultivars. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):335—342. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-335-342

Введение

Обработке почвы, с помощью которой создается необходимый комплекс условий для жизнедеятельности растений, в системе технологических мероприятий по повышению продуктивности культур принадлежит важная роль.

Среди ученых сложились разные мнения об эффективности применения разных способов основной обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур. Согласно мнению авторов [1—6], наиболее оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур складываются на фоне отвальной обработки почвы. В то же время другие исследователи указывают на эффективность применения поверхностной обработки почвы [7—11].

В ходе проведенных исследований в условиях Терско-Сулакской подпровинции Дагестана Н.Р. Магомедов и др. [12] пришли к следующему выводу. В условиях орошения на тяжелосуглинистой луговой почве в целях формирования стабильных

урожаев семян озимого рапса целесообразно проводить плоскорезную обработку с почвоуглублением на 30...35 см.

Но, однако, этими вопросами на светло-каштановых почвах Приморско-Каспийской подпровинции практически не занимались, в связи с чем исследования, направленные на решение данной проблемы, носят актуальный характер.

Цель исследования — определить влияние способов основной обработки почвы на урожайность и качество зеленой массы сортов озимого рапса в условиях Приморско-Каспийской подпровинции Республики Дагестан.

Материалы и методы исследования

Исследования были проведены на светло-каштановых почвах СПК «Цанакский» Табасаранского района Республики Дагестан, расположенного в Приморско-Каспийской подпровинции. В табл. 1 приведена схема опыта.

Таблица 1

Схема опыта

№ п/п	Фактор А – влияние способов основной обработки почвы на продуктивность озимого рапса	Фактор В – сорта
1	Отвальная обработка (контроль)	ВЭМ (стандарт)
2		Элвис
3		Метеор
4	Безотвальная обработка	ВЭМ (стандарт)
5		Элвис
6		Метеор

Table 1

Experimental design

№	Factor A – influence of basic soil tillage methods on winter rape productivity	Factor B – cultivars
1	Real tillage (control)	VEM (standard)
2		Elvis
3		Meteor
4	Subsoil tillage	VEM (standard)
5		Elvis
6		Meteor

Площадь делянки — 500 м², а размещение — рендомизированное. Повторность опыта четырехкратная.

Предшественником была озимая пшеница. Посев был организован зернотравяной сеялкой СЗТ-3,6 на глубину 3,0...3,5 см, нормой 2,0 млн всхожих семян на 1 га.

Режим орошения предусматривал проведение поливов при снижении влажности почвы до 70...75 % НВ.

Исследования проводились на среднесуглинистых светло-каштановых почвах с содержанием гумуса в пахотном слое 2,9...3,1 %, гидролизуемого азота —

5...6 мг/ 100 г почвы, подвижного фосфора — 0,2...1,0 мг /100 г, обменного калия — 30...40 мг /100 г почвы. Содержание поглощенного натрия сильно варьирует — от 2 до 15 % [13].

Постановка полевого эксперимента выполнена в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова [14].

Результаты исследований и обсуждение

Проведенные исследования показали, что между вариантами опыта не выявлено особой разницы по влиянию на агрофизические показатели.

Согласно данным А.И. Пупонина [15], урожайность сельскохозяйственных культур во многом определяется степенью засоренности. Так, урожайность однолетних трав снижается на 32,6 % при количестве сорняков 100 экз./ м². При дальнейшем увеличении количества сорняков до 200 и 500 экз./ м², урожайность снижается соответственно на 52,6 и 76,9 %.

Данные по засоренности посевов в зависимости от применяемых способов основной обработки почвы в наших исследованиях приведены в табл. 2.

Таблица 2

Засоренность сортов озимого рапса в зависимости от способов основной обработки почвы

Способ обработки почвы	Сорта	Годы	Фазы			
			Бутонизация		Цветение	
			Количество, шт./м ²	Масса, г/м ²	Количество, шт./м ²	Масса, г/м ²
Отвальная обработка (контроль)	ВЭМ (стандарт)	2017	41	20,9	37	55,5
		2018	39	19,2	34	51,3
		2019	35	17,8	31	48,3
		Средняя	38	19,3	34	51,7
	Элвис	2017	38	19,8	33	52,0
		2018	33	16,8	30	47,9
		2019	36	18,7	32	48,6
		Средняя	36	18,4	32	49,5
	Метеор	2017	40	19,6	36	54,0
		2018	37	19,2	32	47,9
		2019	37	17,4	33	48,3
		Средняя	38	18,7	34	50,1
Безотвальная обработка	ВЭМ (стандарт)	2017	78	35,4	75	111,9
		2018	72	34,6	68	105,3
		2019	73	33,8	70	106,6
		Средняя	74	34,6	71	107,9
	Элвис	2017	80	36,8	77	115,9
		2018	83	36,5	76	114,7
		2019	77	35,4	73	112,2
		Средняя	80	36,2	75	114,3
Метеор	2017	78	34,8	74	111,1	
	2018	76	35,3	72	110,0	
	2019	74	35,8	70	108,6	
	Средняя	76	35,3	72	109,9	

Table 2

Weed infestation of winter rape fields, depending on basic soil tillage methods

Cultivation method	Cultivar	Year	Growth stage			
			Budding stage		Flowering stage	
			Plants/m ²	Mass, g/m ²	Plants/m ²	Mass, g/m ²
Real tillage (control)	VEM (standard)	2017	41	20.9	37	55.5
		2018	39	19.2	34	51.3
		2019	35	17.8	31	48.3
		Mean	38	19.3	34	51.7
	Elvis	2017	38	19.8	33	52.0
		2018	33	16.8	30	47.9
		2019	36	18.7	32	48.6
		Mean	36	18.4	32	49.5
	Meteor	2017	40	19.6	36	54.0
		2018	37	19.2	32	47.9
		2019	37	17.4	33	48.3
		Mean	38	18.7	34	50.1
Subsoil tillage	VEM (standard)	2017	78	35.4	75	111.9
		2018	72	34.6	68	105.3
		2019	73	33.8	70	106.6
		Mean	74	34.6	71	107.9
	Elvis	2017	80	36.8	77	115.9
		2018	83	36.5	76	114.7
		2019	77	35.4	73	112.2
		Mean	80	36.2	75	114.3
	Meteor	2017	78	34.8	74	111.1
		2018	76	35.3	72	110.0
		2019	74	35.8	70	108.6
		Mean	76	35.3	72	109.9

Так, в среднем за годы проведения эксперимента, в фазе бутонизации количество сорняков и их масса составили на контрольном варианте: у ВЭМ (стандарт) — 38 шт./м² и 19,3 г/м², сортов Элвис и Метеор — соответственно 36; 38 шт./м² и 18,4; 18,7 г/м². В фазе цветения количество сорняков и их масса составило соответственно 34; 32; 34 шт./м² и 51,7; 49,5 и 50,1 г/м².

Наиболее значительная засоренность и масса сорняков наблюдались в случае применения безотвальной обработки.

На посевах сортов ВЭМ (стандарт), Элвис и Метеор количество сорняков возросло до 74, 80, 76 шт./м², а масса сорняков — до 71, 75 и 72 г/м².

В фазе цветения эти значения у вышеуказанных сортов были соответственно на уровне 71,0; 75,0; 72,0 шт./м² и 107,9; 114,3 и 109,9 г/м².

Следовательно, наибольшая засоренность посевов озимого рапса зафиксирована при безотвальной обработке почвы. По сравнению с отвальной обработкой,

в среднем по изучаемым сортам количество сорной растительности было выше в фазу бутонизации 2,1 раза, а масса сорняков — в 1,88 раза. Количество сорняков и их масса в фазу цветения при этом способе обработки почвы возросла в 2,2 раза.

Изучаемые сорта озимого рапса максимальные урожайные данные обеспечили в варианте с отвальной обработкой почвы (табл. 3). За 2017—2019 гг. урожайность в среднем по сортам при отвальной обработке составила 41,3 т/га, что на 3,3 т/га или 8,7 % выше данных варианта с безотвальной обработкой почвы.

Таблица 3

Урожайность сортов озимого рапса

Сорт	Урожайность, т/га			
	2017	2018	2019	Средняя
Отвальная обработка (контроль)				
ВЭМ (стандарт)	35,2	39,4	37,2	37,3
Элвис	42,4	46,9	45,5	44,9
Метеор	38,8	44,0	42,1	41,6
Безотвальная обработка				
ВЭМ (стандарт)	32,9	36,1	34,4	34,5
Элвис	37,8	44,5	41,8	41,4
Метеор	34,3	41,6	38,3	38,1
НСР05	1,5	1,3	1,6	—

Table 3

Winter rape productivity

Cultivar	Yield, t/ha			
	2017	2018	2019	Mean
Real tillage (control)				
VEM (standard)	35.2	39.4	37.2	37.3
Elvis	42.4	46.9	45.5	44.9
Meteor	38.8	44.0	42.1	41.6
Subsoil tillage				
VEM (standard)	32.9	36.1	34.4	34.5
Elvis	37.8	44.5	41.8	41.4
Meteor	34.3	41.6	38.3	38.1
LSD05	1.5	1.3	1.6	—

Среди изучаемых сортов озимого рапса наибольшую урожайность сформировал сорт Элвис. На фоне отвальной обработки урожайность данного сорта составила 44,9 т/га, а при безотвальной — 41,4 т/га (см. табл. 3).

По сравнению с сортами ВЭМ (стандарт) и Метеор прибавка составила соответственно 20,4 т/га (7,9 %) и 20,0 т/га (8,7 %).

Достаточно высокую зеленую массу сформировал также сорт Метеор, урожайность которого на первом варианте составила 41,6 т/га, а на втором — 38,1 т/га. Превышение по сравнению с сортом ВЭМ (стандарт) составило соответственно 11,5 и 10,4 %.

Максимальные урожайные данные были достигнуты в условиях вегетационного периода 2018 г., а минимальные — в вегетационном периоде 2017 г.

Исследования показали, что качественные показатели изменялись в зависимости от способа обработки почвы и изучаемых сортов. При отвальном способе обработки содержание кормовых единиц и переваримого протеина в среднем по сортам составило соответственно 5,39 и 5,12 т/га, разница по сравнению с безотвальной обработкой составила 5,3 и 5,5 %.

Среди сортов рапса наилучшие качественные показатели на светло-каштановых почвах обеспечил сорт Элвис. При отвальном способе обработки содержание кормовых единиц и переваримого протеина у данного сорта составило соответственно 5,81 и 0,84 т/га, что выше данных сортов ВЭМ (стандарт) и Метеор соответственно на 18,1 т/га (7,0 %) и 20,0 т/га (7,7 %). Увеличение этих показателей при безотвальной обработке составило 19,6 т/га (8,0 %) и 21,2 т/га (8,1 %) соответственно.

Минимальные показатели наблюдались у стандарта.

Выводы

В условиях Приморско-Каспийской подпровинции Республики Дагестан максимальные урожаи сортов озимого рапса были достигнуты при отвальном способе обработки почвы. В среднем по сортам урожайность зеленой массы в данном случае была выше, чем при безотвальной обработке на 8,7 %.

Максимальные урожайные данные зафиксированы у сорта Элвис, прибавка по сравнению с ВЭМ (стандарт) и Метеор составила на варианте с отвальной обработкой 20,4 т/га (7,9 %), а на фоне безотвальной обработки — 20,0 т/га (8,7 %).

Наиболее высокие качественные показатели сформировал сорт Элвис в случае применения отвальной обработки почвы.

Достаточно высокие показатели урожайности зеленой массы с хорошими кормовыми показателями также обеспечил сорт рапса Метеор.

Библиографический список

1. Канцалиев В.Т. Обработка почвы и урожай зеленой массы // Кукуруза и сорго. 1994. № 2. С. 3—4.
2. Кафарена В.И., Соснин А.Н., Сергеева Н.Г. Факторы интенсификации в Поволжье // Зерновое хозяйство. 1991. С. 21—23.
3. Паршиков В.В., Сычевский М.Е., Пичугин А.М. Почвозащитная обработка в Присивашье // Земледелие. 1992. № 1. С. 19—21.
4. Пилюк Я.Э., Пикун О.А., Зеленьяк В.В. Технология возделывания сортов озимого и ярового рапса качества «канола» на масло-семена: рекомендации. Жодино, 2010. 41 с.
5. Применение комплексных азотно-фосфорно-калийных удобрений под озимый рапс: рекомендации / Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Минск, 2006. 24 с.
6. Справочник агрохимика / В.В. Лапа и др. ; под ред. В.В. Лапа. Минск : Белорус. наука, 2007. 390 с.
7. Каштанов А.Н. Современные проблемы аридного земледелия России // Повышение продуктивности и охрана аридных ландшафтов. М. : МГУ, 1999. С. 8—11.
8. Киреев А.К. Фитосанитарная роль основной обработки почвы // Земледелие. 2000. № 2. С. 20—21.
9. Ладонин В.Ф., Леринец Ф.А., Крамарев С.М. Обработка почвы в северной степи Украины // Земледелие. 1997. № 3. С. 21—23.
10. Никитин Ю.А., Орманджи К.С., Бурченко П.Н. Интенсивная технология производства озимой пшеницы. М. : Россельхозиздат, 1988. 296 с.
11. Farrow B., Sharma S., Jones J.W., Lofton J., Post A., Warren J.G. Residue Management Impacts on Winter Canola in the Southern Great Plains // Crop, Forage and Turfgrass Management. 2019. Vol. 5. № 1. P. 1—6. doi: 10.2134/cftm2019.01.0007
12. Магомедов Н.Р., Мажидов Ш.М., Сулейманов Д.Ю. Влияние предшественников и способов основной обработки почвы на урожайность семян озимого рапса в Терско-Сулакской подпровинции Дагестана // Проблемы развития АПК региона. 2012. № 1 (9). С. 30—32.

13. Керимханов С.У. Почвы Дагестана. Махачкала, 1976. 112 С.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
15. Пупонин А.И. Земледелие. М. : Колос, 2000. 550 с.

References

1. Kantsaliev VT. Soil tillage and harvest of green mass. *Kukuruza i sorgo*. 1994; (2):3–4. (In Russ).
2. Kafarena VI, Sosnin AN, Sergeeva NG. Factors of intensification in the Volga region. *Zernovoe khozyaistvo*. 1991; 21–23. (In Russ).
3. Parshikov VV, Sychevsky ME, Pichugin AM. Soil protection cultivation in the Prysylvashshia. *Zemledelie*. 1992; (11-12):19–21. (In Russ).
4. Pilyuk YE, Pikun OA, Zelenyak VV. *Tekhnologiya vzdelyvaniya sortov ozimogo i yarovogo rapsa kachestva «kanola» na maslo-semena: rekomendatsii* [Technology of cultivation of oil varieties of winter and spring rapeseed of quality “canola”: recommendations]. Zhodino; 2010. (In Russ).
5. Primenenie kompleksnykh azotno-fosforno-kaliinykh udobrenii pod ozimyi raps: rekomendatsii [Application of complex nitrogen-phosphorus-potassium fertilizers for winter rapeseed: recommendations]. Minsk: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the National Academy of Sciences of Belarus; 2006. (In Russ).
6. Lapa VV. (ed.) *Spravochnik agrokhimika* [Handbook of agrochemist]. Minsk: Belarus. nauka Publ.; 2007. (In Russ).
7. Kashanov AN. Modern problems of arid agriculture in Russia. In: Zvolinskii VP, Khomyakov DM. (eds.) *Povyshenie produktivnosti i okhrana aridnykh landshaftov* [Increase of productivity and protection of arid landscapes]. Moscow: Moscow State University; 1999. p.8–11. (In Russ).
8. Kireev AK. Phytosanitary role of the main soil tillage. *Zemledelie*. 2000; (5):20–21. (In Russ).
9. Ladonin VF, Lerinets FA, Kramarev SM. Soil cultivation in the northern steppe of Ukraine. *Zemledelie*. 1997; (3):21–23. (In Russ).
10. Nikitin YA, Ormandzhi KS, Burchenko PN. *Intensivnaya tekhnologiya proizvodstva ozimoi pshenitsy* [Intensive technology for production of winter wheat]. Moscow: Rosselkhozizdat Publ., 1988. (In Russ).
11. Farrow B, Sharma S, Jones JW, Lofton J, Post A, Warren JG. Residue Management Impacts on Winter Canola in the Southern Great Plains. *Crop, Forage and Turfgrass Management*. 2019; 5(1):1–6. doi: 10.2134/cftm2019.01.0007
12. Magomedov NR, Mazhidov SM, Suleymanov DY. Influence of forecrops and methods of basic tillage on yield of winter rapeseed in the Tersko-Sulak sub-province of Dagestan. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2012; (1):30–32. (In Russ).
13. Kerimkhanov SU. *Pochvy Dagestana* [Soils in Dagestan]. Makhachkala; 1976. (In Russ).
14. Dospekhov BA. *Metodika polevogo opyta* [Field experiment technique]. Moscow: Agropromizdat Publ.; 1985. (In Russ).
15. Puponin AI. *Zemledelie* [Agriculture]. Moscow: Kolos Publ., 2000. (In Russ).

Об авторе:

Гаджикурбанов Анвар Шихрагимович — старший преподаватель агроинженерного департамента, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: Gadcgikurbanow@mail.ru

About author:

Gadzhikurbanov Anvar Shikhragimovich — Senior Lecturer, Agroengineering Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: Gadcgikurbanow@mail.ru

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-343-352
УДК 633.34:631.67

Научная статья / Research article

Продуктивность сортов сои при различных режимах орошения

В.В. Толоконников^{1*}, Г.П. Канцер¹, Т.С. Кошкарлова², Г.О. Чамурлиев³¹ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,
г. Волгоград, Российская Федерация² ФНЦ Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур
им. В.С. Пустовойта, г. Краснодар, Российская Федерация³ Российский университет дружбы народов,
г. Москва, Российская Федерация

*tolokonnikov@vniioz.ru

Аннотация. Площади посева сои в мире ежегодно увеличиваются на 3 млн га и обеспечивают получение средней урожайности 2,7 т/га. Значительный рост отечественного соепроизводства сдерживается усилением аридизации климата, снижающейся урожайностью по стране до 1,5 т/га. Важным фактором интенсификации производства сои является расширение ее посевов в условиях орошения, где внедрение адаптированных и высокопродуктивных сортов региональной селекции, сопровождаемое улучшением водопотребления растений, способствует увеличению уровня урожайности до 3...4 т/га зерна. Объектом исследований являются разноспелые сорта сои селекции Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (ФГБНУ ВНИИОЗ), допущенные в сельскохозяйственное производство Нижнего Поволжья: ВНИИОЗ 86 (с 2002 г.), ВНИИОЗ 31 (с 2011 г.), Волгоградка 2 (с 2020 г.). Исследования проводили в ФГУП «Орошаемое» ФГБНУ ВНИИОЗ в 2013—2015 гг. Опыт включал два фактора: фактор А — сорта, фактор В — режим орошения с вариантами 70-80-70 % НВ (70 % в период «посев — конец бутонизации» и в период созревания 80 % НВ — цветение — налив бобов), 80-80-70 % НВ и 80-80-80 % НВ — контроль. Делянки 1-го (600 м²) и 2-го (200 м²) порядка были посеяны в 4-кратной повторности в середине мая широкорядным способом (0,7 м) с планируемой урожайностью сортов 2,5...3,5 т/га (N₉₀ P₉₀ K₆₀ д.в./га). Сорта сои отличались особенностями формирования структуры урожая. Применение дифференцированного по фазам развития растений режима орошения сопровождалось более экономным водопотреблением растений по сравнению с постоянным режимом, что способствовало росту урожайности. Самые высокие уровни урожайности за годы исследований были сформированы посевами сорта Волгоградка 2 (2,87...3,23) и ВНИИОЗ 31 (2,82...3,19), что существенно выше, чем у раннего сорта ВНИИОЗ 86 (2,17...2,51 т/га). Переменный режим орошения приводил к росту урожайности у всех сортов сои, особенно у Волгоградки 2 — на 0,31...0,36 т/га, или на 10,8...12,5 %, к контролю, благодаря повышению доли зерна в общей биомассе до 30,9...36,2 % в сравнении с контролем — 26,6...27,5 %. Наиболее значительный объем послеуборочных растительных остатков (стеблей, листьев и корней) остается в поле после уборки сортов Волгоградка 2 (6,39...7,63 т/га) и ВНИИОЗ 31, хорошо улучшающих почвенное плодородие (6,73...7,9 т/га), и наименьший объем — после раннего сорта ВНИИОЗ 86 (4,41...5,66 т/га). Дифференциация режима орошения приводила к уменьшению поступления вегетатив-

© Толоконников В.В., Канцер Г.П., Кошкарлова Т.С., Чамурлиев Г.О., 2020

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

ной массы в почву — 4,41...7,42 т/га по сравнению с контролем 5,66...7,9 т/га. Таким образом, лучшими сортами для орошаемого земледелия Нижнего Поволжья являются скороспелый новый сорт Волгоградка 2 и среднескороспелый ВНИИОЗ 31, обеспечивающие при дифференцированном (сравнительно экономном) режиме орошения получение высокой урожайности и улучшающие почвенное плодородие за счет поступления высоких объемов биомассы в почву после уборки.

Ключевые слова: соя, сорта, режимы орошения, структура, урожая, доля зерна в биомассе, послеуборочные растительные остатки, почва

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

История статьи:

Поступила в редакцию: 13 июля 2020 г. Принята к публикации: 17 ноября 2020 г.

Для цитирования: Толоконников В.В., Канцер Г.П., Кошкарлова Т.С., Чамурлиев Г.О. Продуктивность сортов сои при различных режимах орошения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 343—352. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-343-352

Productivity of soybean varieties under different irrigation regimes

Vladimir V. Tolokonnikov^{1*}, Galina P. Kancer¹, Tatyana S. Koshkarova²,
Georgy O. Chamurliiev³

¹Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, *Volgograd, Russian Federation*

²V.S. Pustovoit Russian Research Institute of Oil Crops, *Krasnodar, Russian Federation*

³Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), *Moscow, Russian Federation*

*Corresponding author: tolokonnikov@vniioz.ru

Abstract. World soybean acreage increases by 3 million hectares annually with average yield of 2.7 t/ha. Significant growth of soybean production in Russia is constrained by increased climate aridization and a declining yield of up to 1.5 t/ha. An important factor in intensification of soybean production is to expand its crops under irrigation. Introduction of adapted and high-yielding varieties of regional selection, followed by improvement of crop water supply, increases yields up to 3...4 t/ha. Soybean varieties selected by Russian Research Institute of Irrigated Agriculture and admitted to production in the Lower Volga region: VNIIOZ 86 (since 2002), VNIIOZ 31 (since 2011), Volgogradka 2 (since 2020) were studied. The experiments were conducted at Russian Research Institute of Irrigated Agriculture in 2013—2015. The experiment included two factors: factor A — varieties, factor B — irrigation regime (70-80-70 % of FMC, 80-80-70 % of FMC and control — 80-80-80 % of FMC). Plots of the 1st (600 m²) and 2nd (200 m²) order were sown in 4-fold replication by a wide-row method (0.7 m) in mid-May with a planned yield of 2.5...3.5 t/ha (N₉₀P₉₀K₆₀ a.i./ha). Soybean varieties differed in peculiarities of crop structure formation. Differentiated irrigation regime resulted in more cost-efficient water consumption followed by yield increase compared to the control. The highest yields were formed by Volgogradka 2 variety (2.87...3.23 t/ha) and VNIIOZ 31 (2.82...3.19 t/ha), which was significantly higher than in VNIIOZ 86 variety (2.17...2.51 t/ha). The variable irrigation regime led to yield increase in all soybean varieties, especially in Volgogradka 2 — by 0.31...0.36 t/ha (10.8...12.5 %) as compared to the control. It was due to grain increase to 30.9...36.2 % in the total biomass compared to the control values — 26.6...27.5 %. The highest amount of post-harvest plant residues (stems, leaves and roots) remained after harvesting Volgogradka 2 (6.39...7.63 t/ha) and VNIIOZ 31(6.73...7.9 t/ha), which improved soil fertility well, and the smallest amount was after VNIIOZ 86 variety (4.41...5.66 t/ha). Differentiated irrigation regime led to decrease in vegetative mass in soil — 4.41...7.42 t/ha compared to the control (5.66...7.9 t/ha). Thus, Volgogradka 2 and VNIIOZ 31 can be recommended for irrigated agriculture in the Lower Volga region, as they provide high yields under differentiated (relatively cost-efficient) irrigation regime and improve soil fertility due to large biomass remained in soil after harvesting.

Key words: Soybean, varieties, irrigation regimes, crop structure, grain share in biomass, post-harvest plant residues, soil

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

Article history:

Received: 13 July 2020. Accepted: 17 November 2020

For citation:

Tolokonnikov VV, Kancer GP, Koshkarova TS, Chamurliiev GO. Productivity of soybean varieties under different irrigation regimes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):343—352. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-343-352

Введение

Белково-масличная культура соя демонстрирует стремительный рост производства в мировом земледелии с увеличением площади посева до 120 млн га и урожайности до 2,7 т/га. Однако усиливающаяся аридизация климата большинства сельскохозяйственных зон препятствует увеличению урожайности, которая не превышает 1,5 т/га в среднем по стране. При таком невысоком уровне продуктивности посевов вряд ли удастся в обозримом будущем достигнуть полного импортозамещения и выйти на экспорт с отечественной наиболее биологически ценной соей. Научный и производственный опыт показывает, что соя является высокоотзывчивой на орошение культурой [1], способной обеспечить получение 3...4 т/га зерна. В Волгоградской области площади посева этой культуры тесно связаны с вводом орошаемых земель и в ближайшие 5 лет предполагается довести их до 50 тыс. га. Орошаемое земледелие достаточно затратно, поэтому эффективное использование должно предвлекаться высоко рентабельным ростом урожайности. Наряду с агротехническими мероприятиями, важнейшая роль в повышении продуктивности орошаемого посева принадлежит подбору сортов и совершенствованию приемов оросительной мелиорации.

Цель исследований — оценка продуктивности сортов сои региональной селекции Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого земледелия (ФГБНУ ВНИИОЗ) с различными сроками созревания при разных режимах орошения.

Материалы и методы исследования

Опыты закладывались в ФГУП «Орошаемое» ФГБНУ ВНИИОЗ (2013—2015 гг.) на светло-каштановых почвах с низким содержанием гумуса — 1,52...1,7 %, азота — 36...44 мг/кг почвы, средним — подвижного фосфора (27...51 мг/кг), высоким — обменного калия (265...327 мг/кг). Наименьшая влагоемкость почвы (0,1...0,6 м) варьировалась от 25,5 до 23,5 % [2].

Годы проведения исследований существенно различались по метеопказателям. Сельскохозяйственный 2013 год считается благоприятным для роста и развития сои: в период «посев — полная спелость» выпало 266,1 мм осадков, что на 108,1 % выше среднегодовой нормы. В 2014 и 2015 гг. выпало всего 90,6 мм и прогрес-

сировала воздушная засуха в течение 114 дней (по сравнению с нормой 47 дней) с относительной влажностью воздуха менее 30 %. Сумма температур колебалась у сортов: в 2013 г. — 2412...2797 °С, в 2014 и 2015 гг. — 2315...2958 °С.

Опыт включал два фактора:

- фактор А — сорта ультраранний ВНИИОЗ 86, скороспелый Волгоградка 2 и среднескороспелый ВНИИОЗ 31;
- фактор В — режим орошения с вариантами 70-80-70 % НВ (70 % — в период «посев — конец бутонизации» и в период созревания, 80 % — «цветение — налив бобов»), 80-80-70 % и 80-80-80 % НВ — контроль.

Площадь делянок составляла 200...600 м², учетная второго порядка — 120 м² с 4-кратной повторностью.

Расчетная норма высева семян — 500 тыс. шт. /га. Посев проводился в I—II декаде мая широкорядным способом с междурядьями 0,7 м. Планируемая урожайность — 2,5...3,5 т/га зерна (N₉₀P₉₀K₆₀ д.в/га).

Результаты исследования и обсуждение

Уровень урожайности сои в условиях орошения тесно связан с количеством растений на единице площади, массой зерна с растений, массой 1000 зерен и высотой прикрепления нижнего боба от поверхности почвы [3—5].

Для исследуемых сортов сои выявлены особенности структуры формирования урожая зерна, зависящие от метеоусловий, складывающихся в течение вегетационного периода, и режима орошения (табл. 1). У сорта ВНИИОЗ 86 показатели структуры продуктивности были наиболее выражены в относительно благоприятном по метеоусловиям 2013 г. и наименее — в засушливые 2014 и 2015 гг. Дифференцированный режим орошения по схеме 70-80-70 % НВ усиливал формирование всех основных элементов продуктивности. На других вариантах фактора В их значения снижались, особенно на контроле.

Таблица 1

Зависимость структуры продуктивности растений сои от фактора сорта и режима орошения
(средние данные за 2013–2015 гг.)

Сорт	Режим орошения, % НВ	Показатель структуры урожая			
		Количество растений, шт/м ²	Масса зерна с 1 растения, г	Масса 1000 зерен, г	Высота прикрепления нижнего боба
ВНИИОЗ 86	70-80-70	26,2	9,6	149,8	0,1
	80-80-70	27	8,9	148,6	0,09
	80-80-80	25,6	8,5	147,5	0,09
Волгоградка 2	70-80-70	29	11	160,9	0,15
	80-80-70	28,6	11,3	159,9	0,14
	80-80-80	27,7	10,4	158,1	0,15
ВНИИОЗ 31	70-80-70	28,5	10,5	152,8	0,14
	80-80-70	29,3	10,9	151,1	0,13
	80-80-80	28,6	9,9	150,4	0,13

Table 1

Influence of variety and irrigation regime on soybean productivity (2013–2015)

Varieties	Irrigation regime, % of FMC	Crop structure indicators			
		Number of plants, plants/m ²	Grain weight per plant, g	1000 grain weight, g	Height of attachment of lower beans
VNIIОЗ 86	70-80-70	26.2	9.6	149.8	0.1
	80-80-70	27	8.9	148.6	0.09
	80-80-80	25.6	8.5	147.5	0.09
Volgogradka 2	70-80-70	29	11	160.9	0.15
	80-80-70	28.6	11.3	159.9	0.14
	80-80-80	27.7	10.4	158.1	0.15
VNIIОЗ 31	70-80-70	28.5	10.5	152.8	0.14
	80-80-70	29.3	10.9	151.1	0.13
	80-80-80	28.6	9.9	150.4	0.13

Агроценоз более позднеспелого сорта Волгоградка 2 в условиях 2013 г. характеризовался повышенной сохранностью растений к уборке, массой семян на них и более крупным зерном, чем в засушливые годы. Дробное применение поливов, согласованных с фазами развития растений, в посевах этого сорта приводило к более полной сохранности растений к уборке, увеличению выхода зерна с растений и массы 1000 зерен.

Процесс формирования урожая у среднеспелого сорта ВНИИОЗ 31 также усиливался в более благоприятном по гидротермическим условиям 2013 г. и снижался в годы с избыточным количеством суховейных дней. Наибольшая активизация продукционного процесса у этого сорта наблюдалась на вариантах дифференцированного режима орошения, особенно по схеме 80-80-70 % НВ.

Согласно результатам наших исследований применение переменного режима орошения — по фазам развития растений — способствовало более экономному водопотреблению всех сортов и продуктивному использованию оросительной воды, чем при постоянном режиме полива, что оказало положительное влияние на формирование урожайности [6, 7].

Наиболее высокая урожайность 3,23 т/га отмечена по сорту Волгоградка 2. Ненамного уступил ему по урожаю сорт ВНИИОЗ 31 — 3,91 т/га. С раннего сорта ВНИИОЗ 86 получены более низкие урожаи — 2,17...2,51 т/га за годы исследований. Изменение предполивного порога влажности почвы по-разному влияло на уровни формируемой урожайности сортов. Дифференциация режима орошения, особенно на варианте 70-80-70 % НВ в посевах сорта ВНИИОЗ 86, способствовала росту урожайности на 0,25...0,34 т/га зерна, или на 11,5...15,7 % по сравнению с контролем. Особенно отзывчивым на переменный режим полива оказался сорт Волгоградка 2, обеспечивавший получение прибавки урожая 0,31...0,36 т/га, или 10,8...12,5 % к контролю. Ранние сорта меньше нуждаются во влаге на первоначальных и завершающих стадиях развития, чем среднеспелые (ВНИИОЗ 31), поскольку до начала цветения используют весенние запасы влаги в почве и, благодаря быстрому созреванию при позднелетних и раннеосенних относительно высоких сумм температур, ускоренно созревают. Среднеспелый сорт ВНИИОЗ 31

дает высокую урожайность 3,19 т/га только при дробном режиме 80-80-70 %НВ, что важно учитывать при разработке мелиоративных приемов возделывания сои.

Ценным качеством сорта сои является показатель доли зерна в общей биомассе (уборочный индекс), чем он выше, тем эффективнее осуществляется процесс фотосинтеза и больше зерна формируется на растении. Уборочный индекс напрямую зависит от размеров листовой поверхности. При значительной облиственности стеблестоя усиливается взаимозатеняемость растений, больше теряется завязей бобов посевом, снижается отток пластических веществ в плоды и снижается доля зерна в урожае.

Ранние сорта характеризуются высоким коэффициентом хозяйственной эффективности фотосинтеза $K_{\text{хоз}}$, поскольку развивают невысокую ассимиляционную поверхность, чем по сравнению с сортами поздних сроков созревания [8]. Наши исследования показали, что ультраскороспелый сорт ВНИИОЗ 86 характеризовался более высокими значениями доли зерна в общей биомассе — 31,5 %, чем сорта с продолжительным формированием урожая и созреванием 28,8...30,7 % (табл. 2).

Таблица 2

**Доля зерна в общей биомассе сои в зависимости от сорта и режима орошения, %
(средние данные за 2013–2015 гг.)**

Сорт	Режим орошения, % НВ			Среднее по сортам
	70-80-70	80-80-70	80-80-80	
ВНИИОЗ 86	36,2	30,8	27,5	31,5
Волгоградка 2	33,2	31,6	27,3	30,7
ВНИИОЗ 31	30,9	29	26,6	28,8
Среднее по режимам орошения	33,4	30,5	27,1	30,3

Table 2

**Soybean grain yield in the total biomass depending on variety and irrigation regime, %
(2013–2015)**

Varieties	Irrigation regime, % of FMC			Average
	70-80-70	80-80-70	80-80-80	
VNIIOZ 86	36.2	30.8	27.5	31.5
Volgogradka 2	33.2	31.6	27.3	30.7
VNIIOZ 31	30.9	29	26.6	28.8
Average	33.4	30.5	27.1	30.3

Существенное влияние на индекс урожая оказывали метеоусловия вегетационного периода. В 2013 г. сорта характеризовались невысокими показателями площади листовой поверхности и поэтому сформировали больше зерна в биомассе (29,2...33,7 %) относительно агроценозов урожая других лет (27,1...31 %). Улучшение влагообеспеченности посевов в период вегетативного развития приводит к избыточному нарастанию хозяйственной эффективности фотосинтеза, поэтому лучшим режимом орошения для сортов сои является дифференцированный, способствующий росту доли зерна в биомассе и урожайности.

Зернобобовые, в т. ч. и соя, являются почвоулучшающими культурами в севообороте. Соя, благодаря формированию значительного объема биомассы, в основном остающейся на поле после уборки зерна, обогащает почву многими химическими элементами. Одним из дискуссионных вопросов в биологическом земледелии является необходимость использования ранних сортов сои в севообороте в качестве предшественника для озимых культур или использования для этого более урожайных сортов с продолжительными сроками созревания [9—11]. Результаты наших исследований по определению уровней накопления после уборочной биомассы у сортовариантов на поверхности почвы и в слое 0,3 м показали, что самый значительный объем растительных остатков остается в поле после уборки сортов Волгоградка 2 (6,39...7,63 т/га) и особенно ВНИИОЗ 31 (6,73...7,9 т/га) (табл. 3).

Таблица 3

Уровни послеуборочной вегетативной массы сои на поле в зависимости от сорта и режима орошения (средние данные за 2013–2015 гг.)

Доля растительных остатков, %	Режим орошения, % НВ	Сорт		
		ВНИИОЗ 86	Волгоградка 2	ВНИИОЗ 31
Стеблей, ветвей и створок бобов	70-80-70	55,3	50,4	50,7
	80-80-70	58,4	48,3	45,7
	80-80-80	61,4	51,1	52,4
Листьев и черешков	70-80-70	32,7	37,4	36,1
	80-80-70	29,9	39,8	40,5
	80-80-80	27,2	35,8	33,0
Корней и стерни	70-80-70	12	12,2	13,2
	80-80-70	11,7	11,9	13,8
	80-80-80	11,4	13,1	14,6
Общая (сухая) биомасса без зерна (100 %), т/га	70-80-70	4,41	6,39	6,73
	80-80-70	5,4	7,02	7,42
	80-80-80	5,66	7,63	7,9

Table 3

Soybean biomass depending on variety and irrigation regime (2013–2015)

Plant residues, %	Irrigation regime, % of FMC	Varieties		
		VNIIOZ 86	Volgogradka 2	VNIIOZ 31
Stems, bean leaves	70-80-70	55.3	50.4	50.7
	80-80-70	58.4	48.3	45.7
	80-80-80	61.4	51.1	52.4
Leaves, stalks	70-80-70	32.7	37.4	36.1
	80-80-70	29.9	39.8	40.5
	80-80-80	27.2	35.8	33.0
Roots, stubble	70-80-70	12	12.2	13.2
	80-80-70	11.7	11.9	13.8
	80-80-80	11.4	13.1	14.6
Total (dry) biomass without grain (100 %), t/ha	70-80-70	4.41	6.39	6.73
	80-80-70	5.4	7.02	7.42
	80-80-80	5.66	7.63	7.9

Ранний сорт ВНИИОЗ 86 оставляет в поле значительно меньше послеуборочных остатков биомассы — 4,41...5,66 т/га. Дробные режимы орошения уменьшали поступление растительной массы в почву — 4,41...7,42 т/га. Поливы постоянным режимом 80-80-80 % НВ способствовали увеличению объемов послеуборочной вегетативной массы на поле — 5,66...7,9 т/га.

Переход режима орошения от постоянного к дифференцированному приводил к усилению процесса листообразования, причем не за счет снижения доли корней, а благодаря уменьшению массы створок бобов, что сопровождалось ростом доли зерна в биомассе и урожайности посева.

Поэтому лучшими предшественниками в севообороте являются сорта сои с более продолжительными сроками созревания (101...120 дней), чем ранние (81...100 дней), и оставляющие в поле значительный объем послеуборочных растительных остатков, хорошо улучшающих почвенное плодородие. Полученные экспериментальные данные с использованием нового сорта сои Волгоградка 2 подтвердили высокий потенциал зерновой продуктивности этого сорта. Сорт Волгоградка 2 внесен в Госсортреестр по Нижневолжскому региону с 2020.

Выводы

Проведена многолетняя (2013—2015 гг.) комплексная оценка продуктивности сортов сои региональной селекции ФГБНУ ВНИИОЗ с различными сроками созревания и допуска в сельскохозяйственное производство Нижневолжского региона при постоянном (80 % НВ — контроль) и дифференцированном по фазам развития растений («посев — начало цветения», «цветение — начало созревания», «созревание — полная спелость») режиме орошения (70-80-70 % НВ и 80-80-70 % НВ).

Назначение дробного режима орошения, учитывающего фазу развития растений, приводило у сортов к более полной сохранности растений к уборке (26,2...29,3 шт./м²), чем на контроле (25,6...28,6 шт./м²), и увеличению массы зерна на растении (8,9...11,3 г) по сравнению с контролем (8,5...10,4 г), что способствовало росту урожайности. Максимальная урожайность получена по скороспелому сорту Волгоградка 2 — 3,23 т/га и среднескороспелому ВНИИОЗ 31 — 3,19 т/га на вариантах дифференцированного режима орошения, что выше, чем у контрольных вариантов на 0,18...0,37 т/га, или на 6,4...13,1 %. Ультраскороспелый сорт ВНИИОЗ 86 также формирует более высокие уровни урожайности при переменном назначении поливов с учетом стадии развития агроценоза — 2,42...2,51 т/га, чем на контроле — 2,35 т/га.

Рост урожайности сои часто ограничивается формированием значительных размеров листовой поверхности до цветения растений, что приводит к взаимной их затеняемости и потере плодов. В условиях орошения этот процесс усиливается при избыточной влажности почвы в период вегетативного развития посева. Поэтому некоторое ограничение водного режима перед цветением и в период созревания способствует увеличению доли зерна в общей биомассе — 29...36,2 % по сравнению с постоянно повышенным режимом орошения (80 % НВ) — 26,6...27,5 %.

В процессе исследований установлено, что сорта с более продолжительными сроками созревания (101...120 дней) оставляют после уборки более значительный объем сухой биомассы на поле (6,39...7,9 т/га) по сравнению с ранними

(81...100 дней) сортами (4,41...5,66 т/га), что обеспечивает приоритетность их использования для органического улучшения почвенного плодородия в севооборотах.

Раскрыт потенциал высокой зерновой продуктивности сортов сои, особенно у нового сорта Волгоградка 2, который внесен в Госсортир с 2020 г. по Нижневолжскому региону. Оптимизация приемов мелиорации при возделывании сортов сои Нижневолжского экотипа обеспечит существенный рост урожайности и расширение площади посева этой культуры.

Библиографический список

1. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию (по состоянию на 2018 г.). Режим доступа: <http://reestr.gossort.com>
2. Слободяник Н.С. Выведение новых сортов сои в процессе производства оригинальных семян // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. Вып. 1 (32). Ч. 1. С. 104—105.
3. Кружилин И.П. Оптимизация водного режима почвы для получения запланированных урожаев сельскохозяйственных культур в степной зоне и полупустынной зонах Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Волгоград, 1982. 40 с.
4. Тедеева А.А., Хохоева Н.Т., Тедеева В.В. Усовершенствованные элементы технологии возделывания зернобобовых культур // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 59—64.
5. Vital R.G., Müller C., da Silva F.B., Batista P.F., Merchant A., Fuentes D., Rodrigues A.A., Costa A.C. Nitric oxide increases the physiological and biochemical stability of soybean plants under high temperature // *Agronomy*. 2019. V. 9. P. 412. doi: 10.3390/agronomy9080412
6. Кошкарлова Т.С., Толоконников В.В., Канцер Г.П., Мухаметханова С.С.. Модернизация методов семеноводства сортов сои в Нижнем Поволжье // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2020. № 3 (59). С. 205—211. doi: 10.32786/2071-9485-2020-03-21
7. Miladinović J., Čeran M., Đorđević V., Balešević-Tubić S., Petrović K., Đukić V., Miladinović D. Allelic variation and distribution of the major maturity genes in different soybean collections // *Frontiers in Plant Science*. 2018. V. 9. P. 1286. doi: 10.3389/fpls.2018.01286
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Vision, 2016. Режим доступа: <http://faostat3.Fao.org/download9/g/e> Дата обращения: 03.12.2019.
9. Толоконников В.В., Канцер Г.П., Кошкарлова Т.С., Кожухов И.В. Адаптивные, высокобелковые сорта сои для возделывания в мелиорированных агроландшафтах южной и центральной России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4 (52). С. 166—170. doi: 10.32786/2071-9485-2018-04-23
10. Чамурлиев О.Г., Толоконников В.В. Влияние сортовых особенностей и приемов агротехники на урожайность сои при орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2015. № 3(39). С. 87—91.
11. Robison J.D., Yamasaki Y., Randall S.K. The ethylene signaling pathway negatively impacts cbf/dreb-regulated cold response in soybean (glycine max) // *Frontiers in Plant Science*. 2019. V. 10. P. 121. doi: 10.3389/fpls.2019.00121

References

1. Gossortommission. *State register of selection achievements approved for use in 2018*. Available from: <http://reestr.gossort.com> [Accessed: 3rd December 2019].
2. Slobodyanik NS. Breeding new varieties of soybean in the production process of original seeds. *International Research Journal*. 2015; 1 (32) P. 1: 104—105. (In Russ).
3. Kruzhilin IP. *Optimizatsiya vodnogo rezhima pochvy dlya polucheniya zaplanirovan-nykh urozhayev sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v stepnoi zone i polupustynnoi zonakh Nizhnego Povolzh'ya* [Optimization of the water regime of the soil for obtaining planned crop yields in the steppe zone and semi-desert zones of the Lower Volga region] [Dissertation] Volgograd; 1982. (In Russ).
4. Tedeeva AA, Khokhoeva NT, Tedeeva VV. Advanced elements of technology for leguminous crops cultivation. *Advances in current natural sciences*. 2018. (7):59—64. (In Russ).
5. Vital RG, Muller S, Da Silva FB, Batista PF, Merchant A, Fuentes D, et al. Nitric oxide increases the physiological and biochemical stability of soybean plants at high temperature. *Agronomy*. 2019; 9(8):412. doi: 10.3390/agronomy9080412

6. Koshkarova TS, Tolokonnikov VV, Kantser GP, Mukhametkhanova SS. Modernization of seed production methods for soybean varieties in the Lower Volga region. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2020; (3):205—211. (In Russ). doi: 10.32786/2071–9485–2020–03–21.

7. Miladinović J, Čeran M, Đorđević V, Balešević-Tubić S, Petrović K, Đukić V, et al. Allelic variation and distribution of the major maturity genes in different soybean collections. *Frontiers of Plant Science*. 2018; 9:1286. doi: 10.3389/fpls.2018.01286

8. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Statistics Vision, 2016*. Available from: <http://faostat3.Fao.org/download9/g/s/e> [Accessed: 3rd December 2019].

9. Tolokonnikov VV, Kancer GP, Koshkarova TS, Kozhukhov IV. Adaptive, high-white soybean grades for cultivation in meliorized agrolandscapes in south and central Russia. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2018; (4):166—170. (In Russ). doi: 10.32786/2071–9485–2018–04–23

10. Chamurliev OG, Tolokonnikov VV. Influence of varietal characteristics and techniques of AG-rostehnika on soybean yields under irrigation. *Proceedings of Nizhnevolzskiy agrouniversity complex: science and higher vocational education*. 2015; (3):87—91. (In Russ).

11. Robison JD, Yamasaki Y, Randall SK. The ethylene signaling pathway negatively impacts CBF/DREB-regulated cold response in soybean (*Glycine max*). *Frontiers in Plant Science*. 2019; 10:121. doi: 10.3389/fpls.2019.00121

Об авторах:

Толоконников Владимир Васильевич — доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9; e-mail: tolokonnikov@vniioz.ru

Канцер Галина Павловна — научный сотрудник отдела интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия, Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, д. 9; e-mail: vniiioz@yandex.ru

Кошкарлова Татьяна Сергеевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела сои, Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», Российская Федерация, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17; e-mail: koshkarova_ts@vniioz.ru

Чамурлиев Георгий Омарович — кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: giorgostsamourlidis@mail.ru

About authors:

Tolokonnikov Vladimir Vasilievich — Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Department of Intensive Technologies for Crop Cultivation, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9 Timiryazeva st., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: tolokonnikov@vniioz.ru

Kancer Galina Pavlovna — Researcher, Department of Intensive Technologies for Crop Cultivation, Russian Research Institute of Irrigated Agriculture, 9 Timiryazeva st., Volgograd, 400002, Russian Federation; e-mail: vniiioz@yandex.ru

Koshkarova Tatyana Sergeevna — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Soy Department, V.S. Pustovoit Russian Research Institute of Oil Crops, 350038, Krasnodar, 17 Filatova st., Krasnodar, 350038, Russian Federation; e-mail: koshkarova_ts@vniioz.ru

Chamurliev Georgy Omarovich — Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: giorgostsamourlidis@mail.ru



Защита растений Plant protection

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-353–362
UDC 633.491:632.651:577.21

Research article / Научная статья

Diagnosis of potato rot nematode *Ditylenchus destructor* using PCR-RFLP

Niloufar Mahmoudi^{1*}, Elena N. Pakina¹,
Liudmila A. Limantceva², Anton V. Ivanov²

¹Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

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

*Corresponding author: niloofarmahmoodi@ymail.com

Abstract. During an investigation of nematodes in the Moscow region of Russia in 2019, a known species *Ditylenchus destructor* was recovered from tubers of potato plants. The genus *Destructor* is one of the most problematic genera of plant-parasitic nematodes. The numerous species reported for this genus have been cited from various sources. Due to the morphological similarity of many species and the lack of separation characteristics, the identification of *D. destructor* is difficult. Molecular taxonomy and phylogeny were used to confirm the identification. In the current study, PCR-RFLP illustrative models for the amplification of the ITS-rRNA gene were provided with two enzymes that could recognize *D. destructor* in potato tubers. Analysis of the rDNA sequences spanning both ITS1-ITS2 regions was carried out on the collected populations. The digestion of the PCR product of the ITS1-5.8S-ITS2 region with the enzyme TaqI produced three fragments; 100, 190, 550, and with Tru1I, two fragments were produced; 300 and 480 bp. The obtained DNA sequences were compared with those DNA sequences deposited in GenBank of populations isolated in other countries. The results showed no distinction between populations isolated from different host plant species, including populations found in the Russian Federation. New sequences from ITS-rRNA were deposited in the GenBank under accession number MN122076, MN658597, MN658599, MN658637, MN658638.

Keywords: ITS-rRNA, molecular diagnostics, PCR-RFLP, *Ditylenchus destructor*, potato rot nematode, plant pest

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

Acknowledgments. The research has been conducted with the support of the RUDN University Program «5—100».

Article history:

Received: 13 September 2020. Accepted: 16 October 2020

© Mahmoudi N., Pakina E.N., Limantceva L.A., Ivanov A.V., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

For citation:

Mahmoudi N, Pakina EN, Limantceva LA, Ivanov AV. Diagnosis of potato rot nematode *Ditylenchus destructor* using PCR-RFLP. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):353–362. doi: 10.22363/2312–797X-2020–15–4–353–362

Introduction

Nematodes are an important group of organisms having evident biological progress, characterized by the high amount of density growth, the broad spectrum of spreading, and having numerous intraspecific variable symptoms. They are listed among the quarantine pests in some European countries [1–3] and they were also evaluated as a serious pest in the globe [4]. *Ditylenchus destructor* could be a significant parasite in different host plants. Polyphagous nematode infects large diversity of plants in cropping systems, when there are no host plants, it is capable of feeding and reproducing on mycelia of many fungi. All nematode parasites undergo a process of host invasion, in which they reproduce, disperse, and pursue new hosts [5–8]. Recently, morphological identification has been investigated to recognize *D. destructor*, but morphology cannot be used when eggs, juveniles, and males are the only resources available. Moreover, the genus *Ditylenchus* includes several species with small interspecific morphological differences, and *D. destructor* usually occurs simultaneously with other nematode species. Without taxonomic expertise, the distinguishing of *D. destructor* from other species is difficult. There are some methods using PCR with specific primers designed based on nucleotides combination in the ITS rRNA gene which were also developed for the detection of *D. destructor* [2, 5, 9–11]. Molecular identification of *D. destructor* is based on the specific sequences of rDNA region by the conventional PCR methods [8, 12] and the most customarily used regions are the large subunits [13], small subunits and the internal transcribed spacer (ITS) of ribosomal RNA [14, 15]. Recently, several molecular practices have been evaluated and suggested by the European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) for identifying *D. destructor*, i.e. a PCR-RFLP-based assay of ITS fragment [16]. This research attempts to use EPPO protocol for the characterization and identification of *D. destructor* nematode. The objective of this study was to identify *D. destructor* that was recently found in potato tubers in the Russian Federation, by the means of the PCR-RFLP technique.

Materials and methods

Nematode population. Potato rot nematodes (*D. destructor*) were extracted from potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) in the Russian Federation. Species identification was confirmed through morphological and molecular methods.

For the preparation of nematodes, a tipped pipette was used for picking individual nematodes in a suspension, and a sucking tipped pipette was prepared by burning the tips of two Pasteur pipettes pressed against each other. The pipettes were then pulled apart after melting began, resulting in a tiny syringe-like opening, which served the purpose of sucking nematodes from the suspension with the capillary action.

For morphometric analysis, nematodes (males and females) were picked for each population by sucking with the tipped pipette and placing them onto a glass slide (Menzel GmbH, Braunschweig, Germany), thus creating temporary slide mounts. Two drops of distilled water were added into each glass slide. The slides were then heated at 55 °C for 3...5 seconds on a hot plate. Thereafter, covered slides were placed on the water droplets, and samples were mounted on a ZEISS Axioskop50 microscope equipped with a camera. *D. destructor* remained straight when killed by heat (approximately 60 °C), a typical feature of *Ditylenchus* spp. Morphometric data and light microscopic images were obtained from digital images on a computer screen with the aid of AxioVision software version 4.8.2 (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Jena, Germany) (Fig. 1).

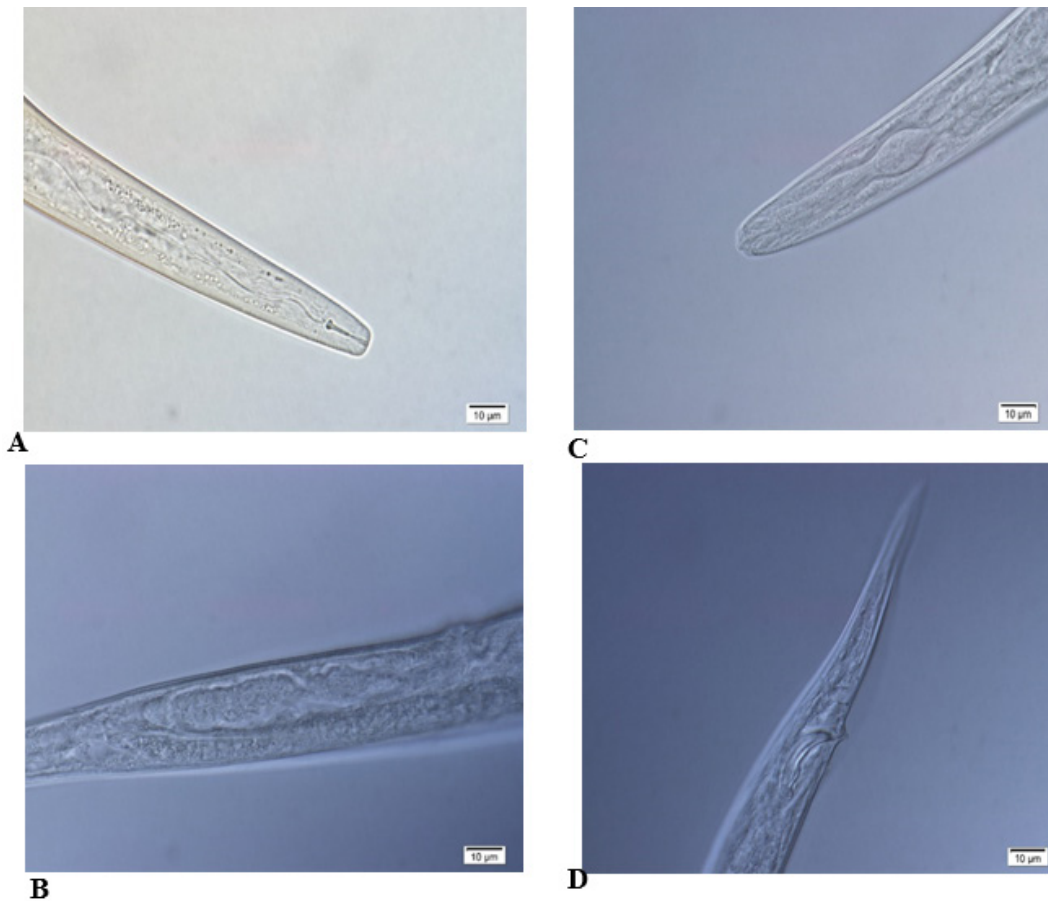


Fig. 1. Micrographs of diagnosis characteristics for *D. destructor* found in potato tubers: A – Female head and stylet; B – Female vulva, anus distance; C – Male head and stylet; D – Male bursa and tail

DNA extraction was carried out by treating the specimens with Proteinase K, which was performed by removing proteins without using organic solvents in the extraction process. A DNA-Ekstran-2 set No EX-511-100 (Synthol, Moscow) was applied for this purpose. Nematodes were extracted from the infected potato tubers. About 6...10 nematodes were collected from the potatoes and put in 20 µl lysis buffer and crashed,

then 280 μl of lysis solution and 1 μl mercaptoethanol were added. Thereafter, 10 μl of Proteinase K was added to the tubers.

The mixture was then vortexed and incubated at 55 °C for 24 hours. By the next day, 100 μl of the precipitated solution was put into tubes; vortexed for 20 seconds, and centrifuged at 13000 rpm for 5 minutes. Subsequently, 2 μl of glycogen was put into new tubes and the supernatant derived from the last stage was also added to them. The tubes were manually (by hand) shaken 10 to 14 times, then 300 μl of precipitating solution was added and shaken manually for 10 to 14 times before being centrifuged at 13000 rpm for 5 minutes. At this point, DNA became visible at the bottom of the tubes. In the next step, 400 μl of wash solution was added and the contents were shaken, and then centrifuged at 13000 rpm for 2 minutes. One more time, the extra solution was discarded. Afterward, the tubes only had the DNA in them and were opened, then put in the oven at 37 °C for 12...15 minutes to evaporate the alcohol. Finally, 50 μl DNA dissolution was added, then shaken, and also put in the oven at 60 °C for 5 minutes.

PCR. The PCR reaction was performed with samples (final volume 25 μl), containing 5 μl of 10X reaction buffer, 1 μl of each primer; universal primers 18S (5'-TTG ATT ACG TCC CTG CCC TTT-3') and 26S (5'-TTT CAC TCG CCG TTA CTA AGG-3') (Table 1), 1 μl DNA and 17 μl H₂O. Amplification conditions for the reaction were as follows: denaturation at 95 °C for 1 minute and 30 seconds followed by 40 cycles, of 45 seconds at 95 °C; primer annealing for 40 seconds at 50 °C; elongation for 1 minute at 70 °C; final elongation at 72 °C for 10 minutes.

Table 1

The primers used in the study

Primer name	Sequence (5'-3')	Amplified region	Source
18S	(5'-TTG ATT ACG TCC CTG CCC TTT-3')	ITS1–5.8s-ITS2 rRNA	Wendt et al., 1993
26S	(5'-TTT CAC TCG CCG TTA CTA AGG-3')	ITS1–5.8s-ITS2 rRNA	Wendt et al., 1993

PCR-RFLP. In carrying out RFLP analysis, 30 μl of the amplification product was digested with one of the restriction enzymes (Tru1I and TaqI) in a buffer stipulated by the supplier. Each digestion reaction involved of 2 μl of 10X reaction buffer, 10 μl of the direct PCR product, and 1 μl of restriction enzyme (10 μg^{-1} μl) thus increasing to a total volume of 17 μl with double distilled water. The digestion mixture was incubated for 5 minutes at 65 °C. The digested DNA fragments were separated on buffered (0.5 % TAE) 1 % agarose gel which contained 15 μl of 10,000X GelRed.

Sequence analysis was performed by the commonly accepted protocol of utilizing the Genetic Analyser AB-3500. Primitive comparison of sequencing results with the GeneBank genetic sequence database was done by the NCBI BLAST website (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BLAST>) (Table 2). BioEdit v.7.0.5.3, sequence alignment editor was used for checking the sequence, editing, and alignment. The tree diagrams were created by using the maximum likelihood technique (ML method) available in Mega 10 software. Bootstrap Test via building 1000 alternative trees was used to analyze and confirm the validity of the tree diagrams. The results are presented in percentage values, the DNA sequences available in the GeneBank homologous to those examined were analyzed along with the newly sequenced. These sequences were deposited in the NCBI database with access numbers: MN122076, MN658597, MN658599, MN658637, MN658638.

Table 2

Reference sequences used in the phylogenetic analysis (www.ncbi.nlm.nih.gov)

Species	Accession Number	Country	Host Plant
<i>D. destructor</i>	MH992393	China	Potato
<i>D. destructor</i>	MN016954	Poland	Potato
<i>D. destructor</i>	MN016967	Poland	Potato
<i>D. destructor</i>	EU400636	China	Sweet potato
<i>D. destructor</i>	EU400627	South Korea	Sweet potato
<i>D. destructor</i>	EF208213	China	Potato
<i>D. destructor</i>	JZ133325	China	Sweet potato
<i>D. destructor</i>	JZ133407	China	Sweet potato
<i>D. destructor</i>	JZ128929	China	Sweet potato
<i>D. destructor</i>	JZ128830	China	Sweet potato
<i>D. destructor</i>	FJ707365	Czech Republic	Potato
<i>D. destructor</i>	MG673926	China	Carrot
<i>D. destructor</i>	MN122076	Russian Federation	Potato
<i>D. destructor</i>	MN658597	Russian Federation	Potato
<i>D. destructor</i>	MN658599	Russian Federation	Potato
<i>D. destructor</i>	MN658637	Russian Federation	Potato
<i>D. destructor</i>	MN658638	Russian Federation	Potato
<i>D. destructor</i>	JZ133328	China	Sweet potato
<i>D. dipsaci</i>	MG676655	Japan	Phlox subulata
<i>D. dipsaci</i>	MG676656	Japan	Phlox subulata
<i>D. dipsaci</i>	MG676657	Japan	Phlox subulata
<i>D. dipsaci</i>	GQ469497	Czech Republic	Allium sativum
<i>Meloidogyne javanica</i>	AY545998	USA	–
<i>Meloidogyne javanica</i>	AY545997	USA	–
<i>D. dipsaci</i>	KY348765	Mexico	Alfalfa1
<i>D. dipsaci</i>	KT806479	China	Medicago sativa

Results and discussion

Using the RFLP-PCR and nematode DNA extracted from potato tubers, PCR fragments were successfully amplified at the expected product size for primer set in *D. destructor* samples. PCR-RFLP showed the distinction of *D. destructor* with similar species such as *D. dipsaci* and *D. myceliophagus* [17]. In some populations of sweet potato, the RFLP method indicated different band lengths [18]. The amplification of ITS1-5.8S-ITS2 of the ribosomal DNA produced a fragment of almost 1000 bp. Nowadays, the molecular diagnostic of *D. destructor* is primarily based on the specific sequences of some conserved regions by the conventional PCR, and the most commonly used regions are small subunits and internal transcribed spacer (ITS) of ribosomal RNA [2].

The digestion of the PCR product of the ITS1—5.8S-ITS2 region with the enzyme TaqI produced three fragments; 100, 190, 550, and with TruII, two fragments were produced; 300 and 480 bp (Fig. 2). ITS1 differed in length from 315 to 473 bp, 5.8S measured ca 154bp and ITS2 was 207 bp. The identified distinction in length in the ITS1 was affected by the insertion of 57 to 188 bp in the entire length in some *D. destructor* [2]. A mentioned primer set can be used for specific identification of *D. destructor*.

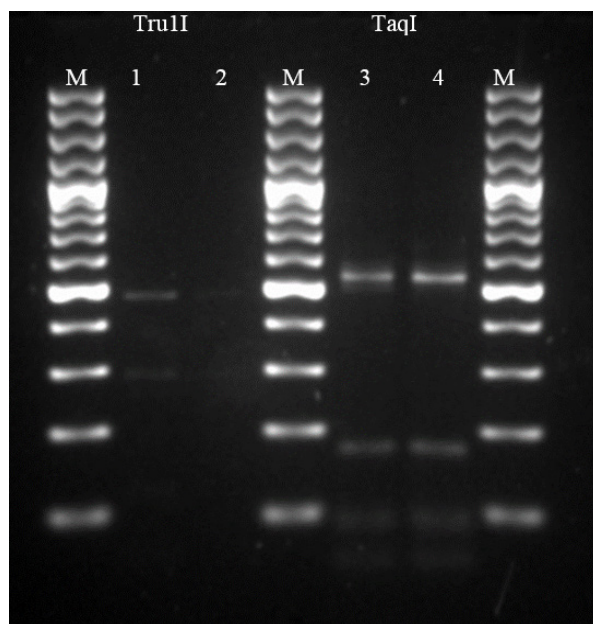


Fig. 2. Restriction fragment length polymorphisms of the ITS region amplified using 18S and 26S primers for a, *D. destructor* using restriction enzymes TruII (LANE1, 2) and TaqII (Lane 3, 4). Lane M is the (100 bp) molecular marker

All populations from potatoes were identified as *D. destructor* by DNA sequencing. DNA fragments produced bands with the primer set tested.

Diagnostic of *D. destructor* is difficult by the morphological identification only. Hence, molecular techniques help scientists to identify this nematode accurately. It allows to the suggestion that *D. destructor* may present a species or subspecies complexity]18[.

Recently, methods and knowledge of molecular biology have been investigated as a powerful practice to identify various nematode species [13, 17]. It was also revealed that rDNA ITS regions can be desirably used for phylogenetic analyzes [5, 16].

Similar research by BLAST of the sequences of *D. destructor* was found in potato tubers with sequences of the GenBank from both markers of the rDNA previously deposited in the GenBank displayed three clades of *D. destructor*, *D. dipsaci*, and *Meloidogyne javanica* as an outgroup species. Our deposited sequences formed a highly supported (PP = 100 %) with whole populations that were involved from China, Czech Republic, and South Korea.

Phylogenetic relationships within potato rot nematode as inferred from the ITS1-5.8S-ITS2 rRNA gene sequences using Maximum Likelihood Method inference is given in Fig. 3. In the GenBank database, there are many sequences of *D. destructor* retrieved from various plants and geographical regions [5, 7].

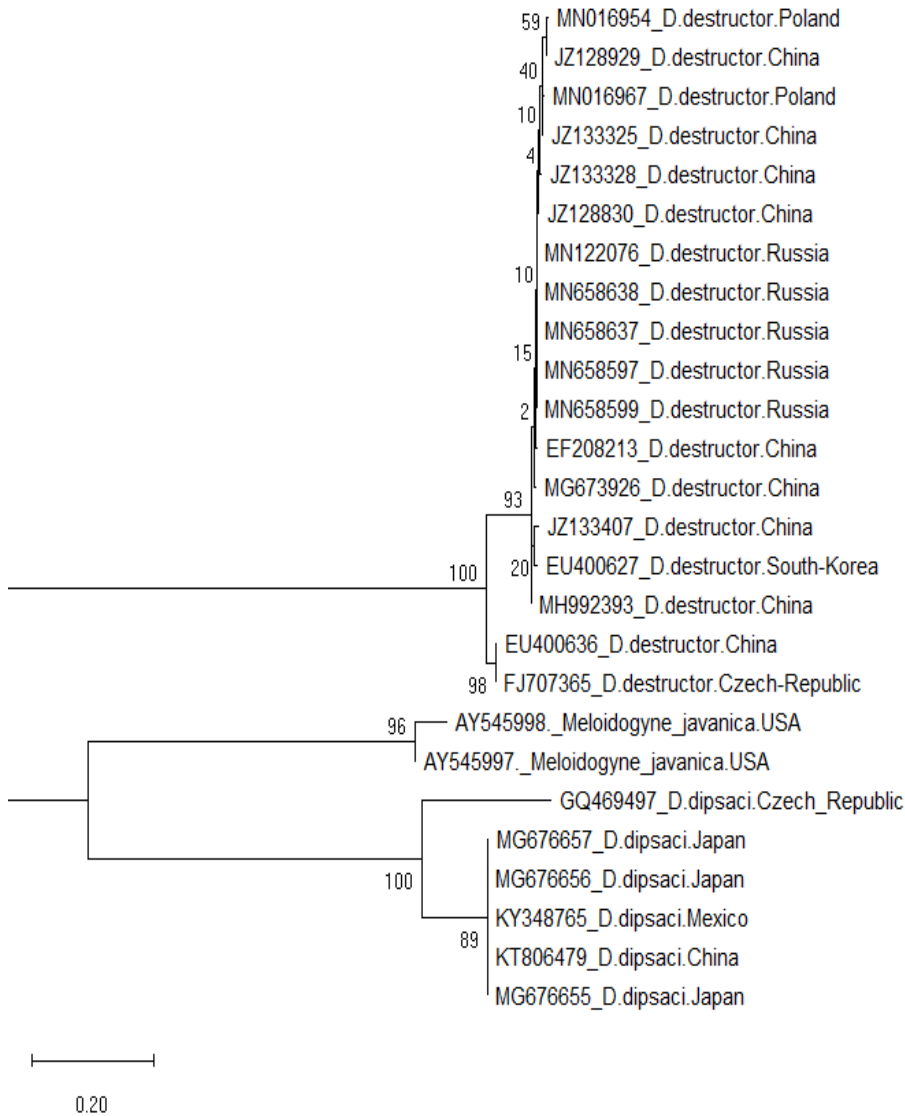


Fig. 3. Maximum Likelihood Method of the alignments of internal transcribed spacer 1 (ITS1)-5.8S-ITS2 of the *D. destructor*

Conclusions

The accurate identification of nematode is a significant step for effective control of the host plant. It must be recognized that species determinations have an essential practical application in nematology. Regulatory decisions depend on quick and also accurate identification. Overall, economic management options require a greater resolution in nematode identification. Based on the PCR-RFLP restriction pattern obtained with the Tru1I, TaqI, it is possible to indicate that the rot nematode *D. destructor* was found in potato tubers in the Russian Federation territory. It is necessary to carry out studies of differential hosts in the populations and use new sequencing to obtain useful molecular markers for the differentiation of the *D. destructor* in the Russian Federation.

References

1. Bae CH, Szalanski AL, Robbins RT. Genetic variation of *Hoplolaimus columbus* populations in the United States using PCR-RFLP analysis of nuclear rDNA ITS regions. *Journal of nematology*. 2009; 41(3):187–193.
2. Ding SW, Yang SH, Wu WJ, Xie H, Xu CL. Rapid diagnosis of *Ditylenchus destructor* by loop-mediated isothermal amplification assay based on 28S rRNA sequences. *European Journal of Plant Pathology*. 2019; 153(4):1165–1175. doi: 10.1007/s10658-018-01633-7
3. Jeszke A, Dobosz R, Obrępańska-Stęplowska A. A fast and sensitive method for the simultaneous identification of three important nematode species of the genus *Ditylenchus*. *Pest management science*. 2015; 71(2):243–249. doi: 10.1002/ps.3788
4. Ji L, Wang JC, Yang XL, Huang GM, Lin MS. PCR-RFLP patterns for differentiation of three *Ditylenchus* species. *Journal of Nanjing Agricultural University*. 2006; 29(3):39–43. doi: 10.7685/j.issn.1000-2030.2006.03.008
5. Mahmoudi N, Naserzadeh Y, Pakina EN, Limantceva LA, Nejad DK. Molecular identification of *Ditylenchus destructor* nematode with PCR Species-Specific primers in the Moscow region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019; 14(4):430–436. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-4-430-436
6. Liu B, Mei YY, Zheng JW. Species-specific detection of inter-populations of *Ditylenchus destructor*. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*. 2007; 33:490–496
7. Mahmoudi N, Pridannikov M, Zargar M, Naserzadeh Y, Limantceva L, Pakina E. Molecular diagnostics of *Ditylenchus destructor* based on the ITSrDNA from Iran and Russia Federation. *Research on Crops*. 2020; 21(1):151–155. doi: 10.31830/2348-7542.2020.025
8. Marek M, Zouhar M, Douda O, Mazakova J, Rysanek P. Bioinformatics-assisted characterization of the ITS1-5' 8S-ITS2 segments of nuclear rRNA gene clusters, and its exploitation in molecular diagnostics of European crop-parasitic nematodes of the genus *Ditylenchus*. *Plant Pathology*. 2010; 59(5):931–943. doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02322.x
9. Oliveira CM, Monteiro AR, Blok VC. Morphological and molecular diagnostics for plant-parasitic nematodes: working together to get the identification done. *Tropical Plant Pathology*. 2011; 36(2): 65–73. doi: 10.1590/S1982-56762011000200001
10. Mizen KA, Caubel G, Plowright RA. *Ditylenchus* species. In: Cook R, Starr JL, Bridge J. (eds.) *Plant resistance to parasitic nematodes*. CABI Publishing; 2002. p.107–139.
11. Powers TO, Szalanski AL, Mullin PG, Harris TS, Bertozzi T, Griesbach JA. Identification of seed gall nematodes of agronomic and regulatory concern with PCR-RFLP of ITS1. *Journal of Nematology*. 2001; 33(4):191–194.
12. Smith IM, Mc Namara DG, Scott PR, Harris KM. *Quarantine pests for Europe*. Cambridge: University Press; 1992.
13. Subbotin SA, Madani M, Krall E, Sturhan D, Moens M. Molecular diagnostics, taxonomy, and phylogeny of the stem nematode *Ditylenchus dipsaci* species complex based on the sequences of the internal transcribed spacer-rDNA. *Phytopathology*. 2005; 95(11):1308–1315. doi: 10.1094/PHYTO-95-1308.
14. Deimi AM, Zheng J, Chizhov VN, Subbotin SA. Length variation and repetitive sequences of internal transcribed spacer of ribosomal RNA gene, diagnostics and relationships of populations of potato rot nematode, *Ditylenchus destructor* Thorne, 1945 (Tylenchida: Anguinidae). *Nematology*. 2011; 13(7):773–785. doi: 10.1163/138855410X551923
15. Thorne G. *Ditylenchus destructor* n. sp. the potato rot nematode, and *Ditylenchus dipsaci* (Kühn, 1857) Filipjev, 1936, the teasel nematode (Nematoda: Tylenchidae). *Proceedings of the helminthological Society of Washington*. 1945; 12(2):27–34.
16. Wan F, Peng DL, Yang YW, He YQ. Species specific molecular diagnosis of *Ditylenchus destructor* populations occurring in China. *Acta Phytopathologica Sinica*. 2008; 38(3):263–270.
17. Wendt KR, Swart A, Vrain TC, Webster JM. *Ditylenchus africanus* sp. N. from South Africa; a morphological and molecular characterization. *Fundamental and Applied Nematology*. 1995; 18(3):241–250.
18. Willett DS, Martini X, Stelinski LL. Chemoecology and Behavior of Parasitic Nematode — Host Interactions: Implications for Management. In: Tabata J. (ed.) *Chemical Ecology of Insects*. Boca Raton: CRC Press; 2018. p.91–113. doi: 10.1201/9781351228398.

About authors:

Mahmoudi Niloufar — PhD candidate, Department of Agrobiotechnology, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: niloofarmahmoodi@yandex.com
ORCID iD: 0000–0002–8229–4852

Pakina Elena Nikolaevna — Associate Professor, Candidate of Biological Sciences, Agro-Biotechnological Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: e-pakina@yandex.ru

Limantseva Liudmila Alekseevna — Senior Scientist, All-Russian Plant Quarantine Center, 32, Pogranichnaya st., Bykovo vill., 140150, Ramenskoye, Moscow region, Russian Federation; e-mail: Limantseva.liudmila@vniikr.ru

Ivanov Anton Vladislavovich — Junior Researcher, All-Russian Plant Quarantine Center, 32, Pogranichnaya st., Bykovo vill., 140150, Ramenskoye, Moscow region, Russian Federation; e-mail: Ivanov.anton@vniikr.ru

Диагностика стеблевой нематоды картофеля *Ditylenchus destructor* с использованием PCR-RFLP

Н. Махмуди^{1*} Е.Н. Пакина¹, Л.А. Лиманцева², А.В. Иванов²

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

²Всероссийский центр карантина растений, Московская обл., Российская Федерация

*niloofarmahmoodi@yandex.com

Аннотация. При исследовании нематод в Московской области в 2019 г. был выделен известный вид *Ditylenchus destructor* из клубней картофеля. Род деструктор — один из наиболее проблемных родов растительных паразитарных нематод. Многочисленные виды, описанные для этого рода, были приведены в различных источниках. Из-за морфологического сходства многих видов и отсутствия раздельных признаков идентификация *D. destructor* затруднена. Для подтверждения идентификации использовалась молекулярная систематика и филогения. В настоящем исследовании иллюстративные модели PCR-RFLP для амплификации гена ITS-рДНК были снабжены двумя ферментами, которые могли распознавать *D. destructor* в клубнях картофеля. На собранных популяциях был проведен анализ последовательностей рДНК, охватывающих оба региона ITS1-ITS2. В результате амплификации участка ITS1-5.8 с-ITS2 с ферментом TaqI были получены фрагменты длиной 100, 190 и 550 п.н., а с ферментом Tru1I были получены два фрагмента — 300 и 480 п.н. Полученные последовательности ДНК сравнивали с последовательностями ДНК, депонированными в Генбанке популяций, изолированных в других странах. Полученные результаты не выявили различий между популяциями, выделенными из различных видов растений-хозяев, включая популяции, обнаруженные в Российской Федерации. Новые последовательности из ITS-рДНК были депонированы в Генбанк под регистрационными номерами MN122076, MN658597, MN658599, MN658637, MN658638.

Ключевые слова: ITS-рДНК, молекулярная диагностика, PCR-RFLP, *Ditylenchus destructor*, стеблевая картофельная нематода, вредитель растений

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

Финансирование. Благодарности. Исследование проведено при финансовой поддержке Программы РУДН «5—100».

История статьи:

Поступила в редакцию: 13 сентября 2020 г. Принята к публикации: 16 октября 2020 г.

Для цитирования:

Mahmoudi N., Pakina E.N., Limantseva L.A., Ivanov A.V. Diagnosis of potato rot nematode *Ditylenchus destructor* using PCR-RFLP // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 353–362. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-353-362

Об авторах:

Махмуди Нилуфар — аспирант, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: niloofarmahmoodi@yandex.com

ORCID iD: 0000-0002-8229-4852

Пакина Елена Николаевна — доцент, кандидат биологических наук, Агробиотехнологический департамент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: e-pakina@yandex.ru

Лиманцева Людмила Алексеевна — старший научный сотрудник, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, 140150, г. Раменское, п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: Limantseva.ludmila@vniikr.ru

Иванов Антон Владиславович — младший научный сотрудник, Всероссийский центр карантина растений, Российская Федерация, Московская область, 140150, г. Раменское, п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: Ivanov.anton@vniikr.ru



Почвоведение и агрохимия Soil science and agrochemistry

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-363-374
УДК 556: 551.582.3

Научная статья / Research article

Особенности многолетней динамики общей обводненности территории Белгородской области, выявляемые по спутниковым данным GRACE

И.Ю. Савин^{1, 2*}, Б.С. Габдуллин³

¹ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

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

³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация

*savin_iyu@esoil.ru

Аннотация. Анализ многолетней динамичности общей обводненности территории Белгородской области проведен с использованием ежемесячных спутниковых данных GRACE за период с 2002 по 2016 гг. Выявлена корреляция спутниковых данных с климатическим водным балансом с лагом, варьирующим на территории области от 2 до 4 месяцев. Установлено, что начиная с 2008 г. на территории Белгородской области отмечается устойчивая тенденция к уменьшению общей обводненности, преобладание отрицательных значений. Минимум достигает наименьших значений по сравнению со всем изучаемым периодом. При этом сезонность изменения значений сохраняется в течение всего временного ряда. Периодичность изменения общей обводненности на всей территории исследований выражена не очень четко: хорошо выражен лишь многолетний максимум общей обводненности территории в 2006 г. Еще один — менее выраженный локальный максимум — наблюдался в 2013 г. Локальные многолетние минимумы общей обводненности территории приурочены к 2002, 2009 и 2015 гг. Отмечается положительный тренд амплитуды сезонных колебаний общей обводненности территории: в последние годы амплитуда постоянно нарастает. На всей территории Белгородской области наблюдается отрицательный многолетний тренд значений общей обводненности территории с их достаточно большим пространственным варьированием. С северо-запада на юго-восток области происходит понижение угла наклона тренда. Спутниковые данные GRACE могут служить достаточно надежным индикатором выявления тренда общей обводненности больших территорий.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, обводненность территории, GRACE, Белгородская область

© Савин И.Ю., Габдуллин Б.С., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

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

Финансирование. Благодарности. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ (№ 19-05-50063).

История статьи:

Поступила в редакцию: 2 июня 2020 г. Принята к публикации: 17 июня 2020 г.

Для цитирования:

Савин И.Ю., Габдуллин Б.С. Особенности многолетней динамики общей обводненности территории Белгородской области, выявляемые по спутниковым данным GRACE // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 363–374. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-363-374

Specifics of long-term dynamics of terrestrial water storage detected using GRACE satellite in Belgorod region

Igor Yu. Savin^{1,2*}, Bakhytnur S. Gabdullin³

¹Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

²Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: savin_iyu@esoil.ru

Abstract. GRACE monthly satellite data for the period from 2002 to 2016 were used to analyze the long-term dynamics of the terrestrial water storage in the Belgorod region of Russia. The correlation of satellite data with climatic water balance with a lag varying on the territory from 2 to 4 months was revealed. There was found a stable tendency to decrease in terrestrial water storage, and predominance of negative values on the territory of the Belgorod region since 2008. The minimum attains the lowest values in comparison with the whole studied period. However, seasonality of the changes is maintained throughout the entire analyzed time series. The frequency of changes in the terrestrial water storage throughout the entire area is not very clear: only the long-term maximum of the terrestrial water storage of the territory in 2006 is well expressed. Another, less pronounced local maximum was observed in 2013. Local long-term minima of the terrestrial water storage of the territory were in 2002, 2009 and 2015. There is a positive trend in the amplitude of seasonal fluctuations in the terrestrial water storage of the territory: the amplitude has been constantly increasing in recent years. The territory of the Belgorod region has negative long-term trend of terrestrial water storage with their rather large spatial variation. The angle of inclination of the trend decreases from north-west to south-east in the region. GRACE satellite data can serve as a fairly reliable detection indicator of the trend of terrestrial water storage in large areas.

Keywords: satellite monitoring, terrestrial water storage of the territory, GRACE, Belgorod region

Conflicts of interest

The authors declared no conflicts of interest.

Financing. Acknowledgments

The research was carried out with financial support of the Russian Foundation for Basic Research (No. 19-05-50063).

Article history:

Received: 2 June 2020. Accepted: 17 June 2020

For citation:

Savin IY, Gabdullin BS. Specifics of long-term dynamics of terrestrial water storage detected using GRACE satellite in Belgorod region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):363–374. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-363-374

Введение

Увлажнение почв основной земледельческой зоны России является одним из факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур. Во многих научных публикациях указывается на то, что оно не является постоянным, а изменяется. Причем периодичность изменений на данной территории подвержена цикличности, что приводит к чередованию лет с повышенным и пониженным увлажнением. Наиболее четко выражены циклы, сопоставимые с циклами солнечной активности (11 лет и 22 года), циклами Брикнера (около 40 лет) и с вековыми циклами (80—90 лет) [1—4]. В России повышенной увлажненностью характеризуется 26,2 млн га почв [5, 6]. Особое беспокойство вызывает переувлажнение черноземов, являющихся основной житницей на которых производится основная часть хлебных зерновых культур в стране. Переувлажнение почв в большинстве случаев возникает из-за изменений климата, воздействие которых может усугубляться спецификой землепользования. Увеличение или уменьшение количества атмосферных осадков приводит к изменению глубины залегания грунтовых вод и присутствию в почвах верховодки. Эти процессы приобретают региональную специфику из-за разницы в рельефе, геологическом строении территории, использовании земель в сельском и лесном хозяйстве и водопотреблении населенных пунктов и промышленных предприятий.

Согласно данным [7, 8] на территории центральных черноземных областей России в последние годы сумма среднегодовых осадков увеличилась в среднем на 150 мм, а температура воздуха возросла в среднем на 1,8 °С.

Изучение многолетней динамики увлажнения любой территории обычно сильно ограничивается недостатком или полным отсутствием данных реальных полевых наблюдений. Спутниковые данные и цифровые технологии мониторинга влажности почв на основе данных микроволновой съемки используются достаточно давно (к примеру, данные со спутников SMOS, CMIS (NOAA), AQUA (AMSR), SMAP (NASA) и т.п.). Но эти данные отражают влажность лишь поверхностного слоя почв. Для их пересчета на корнеобитаемую толщу требуется большое количество дополнительных данных о почвах региона исследований, которые часто недоступны. Кроме того, на содержание и качество подобных изображений оказывают влияние дополнительные факторы, предопределяющие особенности процесса взаимодействия СВЧ сигнала с земной поверхностью (рельеф и шероховатость поверхности, свойства почв, растительность).

В последнее время появилась возможность использования для анализа динамики увлажненности территории данных спутниковых измерений GRACE¹. С момента начала миссии уже опубликовано достаточно научных работ как за рубежом [9—11], так и в России [12—15], в которых на разных уровнях обобщения показана эффективность использования таких данных для анализа динамики уровня грунтовых вод, уровня воды в озерах и обводненности рек, содержания влаги в водосборах рек и в снежном покрове. Но, как и для других подобных

¹ Grace Mission // NASA. Режим доступа: https://www.nasa.gov/mission_pages/Grace/index.html Дата обращения: 16 февраля 2020 г.

по уровню генерализации данных, основная проблема заключается в том, что для поиска их связей с параметрами обводненности нужно большое количество фактических данных об обводненности, которые во многих случаях отсутствуют или имеются в ограниченном количестве. Поэтому любое дополнительное исследование в области исследования возможностей использования данных GRACE представляется ценным.

Цель исследования — оценить возможности использования данных GRACE для анализа динамичности обводненности территории Белгородской области, где влага в основном содержится в почвах и грунтах.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования выбрана территория Белгородской области, которая располагается на Европейской части России (рис. 1).

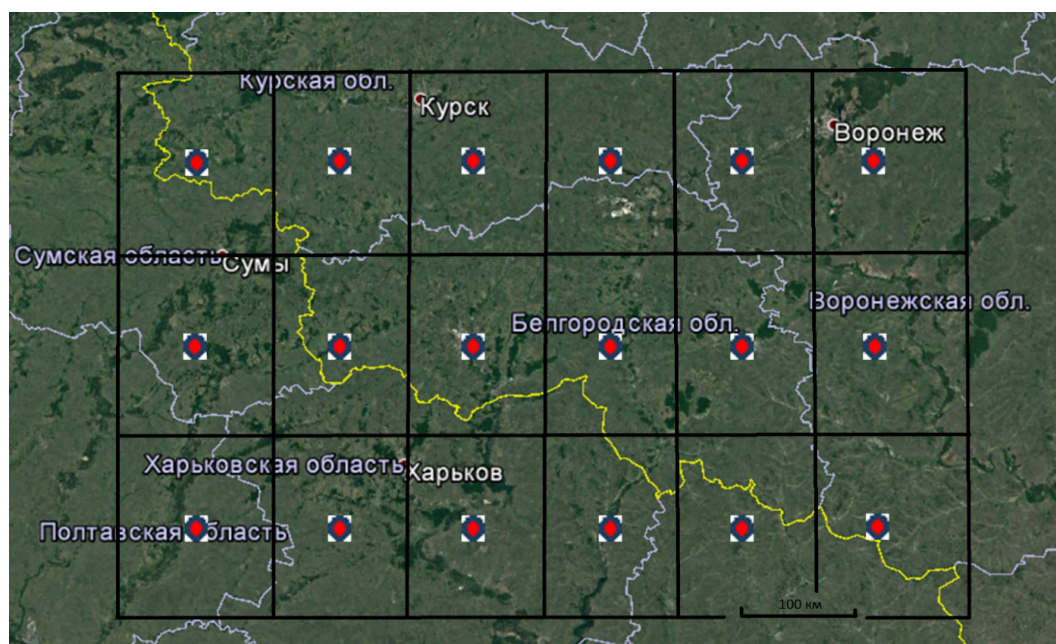


Рис. 1. Пространственные ячейки с измерениями GRACE на территории исследований: центры ячеек показаны красным цветом, границы — черным

Fig. 1. Spatial cells with GRACE measurements in the area studied: cell centers — red; borders — black

Для исследований выбрана именно территория области, а не водосборных бассейнов или почвенных районов, так как все практические управленческие решения принимаются в большинстве своем именно на областном уровне, а не на уровне каких-либо физико-географических выделов.

Основной источник данных — измерения, полученные с помощью спутниковой системы GRACE за период с 2003 по 2016 гг. Система представлена двумя спутниками, запущенными 17 марта 2002 г. и двигающимися на высоте

450...500 км. Спутники были созданы и выведены на орбиту для повышения точности измерения географических координат. Но спутники позволяют также осуществлять мониторинг процессов, которые изменяют гравитационное поле Земли. Одним из основных подобных процессов является содержание воды на земной поверхности, в почвах и недрах [16—19], т. е. данные можно использовать в качестве некоего интегрального индикатора содержания воды в недрах земель, озерах и реках, выпадающих осадках, в аккумулятивном на поверхности снеге и льде и содержания влаги в почвах и растительности. Это суммарное содержание воды мы называем общей обводненностью территории (ООТ). Ежемесячные спутниковые данные представлены значениями изменений параметра «толщина эквивалентного слоя воды» (ТЭСВ) в сантиметрах относительно среднего значения за период 01.2004—12.2009 гг., который и рассматривается нами как показатель общей обводненностью территории.

Использовались ежемесячные измерения в течение 13 лет, указанных выше. Необходимо отметить, что для некоторых лет существуют пропуски в данных по нескольким месяцам.

Кроме того, проводилось цифровое сравнение спутниковых данных о ТЭСВ с данными динамики потенциального климатического водного баланса (КВБ), который представляет собой разницу между количеством выпавших осадков и потенциальной испаряемостью с поверхности стандартного растительного покрова. Информация о КВБ была получена из архива климатического реанализа ERA-INTERIM Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды в Рединге (Великобритания)². Исходные данные представлены в архиве в виде равномерной пространственной сетки с пространственным шагом 0,25 градуса. На первом этапе анализа декадные данные архива были агрегированы в ежемесячные, а затем усреднены для каждой пространственной ячейки данных GRACE.

Анализ ежемесячных данных о ТЭСВ проводился в программах MSExcel и Statistica 6.0. Вначале определялся угол наклона многолетнего тренда отдельно для каждой ячейки пространственных данных (см. рис. 1). Для этого строились графики распределения значений ТЭСВ и определялась линия многолетнего тренда. Затем полученные данные импортировались в ГИС ILWIS3.31 и на их основе составлялись карты вариации угла наклона тренда в пространстве с помощью интерполяции данных методом скользящего среднего (Moving Average Linear Decrease; Weight exponent = 1; Limiting Distance = 1).

На следующем этапе выявляли периодичность и определяли характер распределения ежемесячных данных на основе визуального анализа гистограмм. Также анализировали сезонность вариации данных и амплитуду значений в течение года.

Кроме того, проводилось сопоставление ежемесячных измерений ТЭСВ и климатических данных за период 2003—2011 гг. с помощью анализа распределенных лагов (Distributed Lags Analysis). Охват неполного временного отрезка связан с тем, что отсутствуют исходные данные по 6 месяцам в 2002 и 2016 гг., по 3 и более месяцам в 2012—2015 гг.

² ERA-Interim // ECMWF. Режим доступа: <https://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim> Дата обращения: 10 февраля 2020 г.

Результаты исследований и обсуждение

Проведенный анализ показал, что в изучаемом временном ряду (2003—2016 гг.) наблюдается сезонность вариации значений ТЭСВ. До 2008 г. преобладают положительные значения ТЭСВ. Максимальные значения достигаются в весенние месяцы, минимальные отрицательные значения отмечаются в осенние месяцы (сентябрь, октябрь, ноябрь), в отдельные годы — в декабре месяце.

До 2006 г. заметен нарастающий тренд значений ТЭСВ, причем это характерно почти для всех месяцев в году. Даже минимум значений в году значительно увеличивается, особенно в период 2003—2004 гг. Затем с 2006 по 2008 гг. наблюдается обратная картина: значения ТЭСВ резкими темпами уменьшаются и минимум достигает тех же значений, что и в 2002 г.

Однако в период 2008—2016 гг. ранее наблюдаемые колебания не отмечаются. Начиная с 2008 г. наблюдается устойчивый тренд понижения значений общей обводненности территории, все значения большей частью становятся отрицательными. В период 2008—2013 гг. значения минимума сохраняются примерно в одних пределах значений. Затем в 2014—2015 гг. происходит резкое увеличение минимума. В связи с недостатком статистических данных нельзя сказать, является это периодичностью или нет. При всем этом сохраняется сезонность вариации значений в течение года. В 2014—2015 гг. значения ТЭСВ достигают наименьшего значения по сравнению со всем изучаемым периодом. После 2014 г. положительные значения величин ТЭСВ отсутствуют (рис. 2).

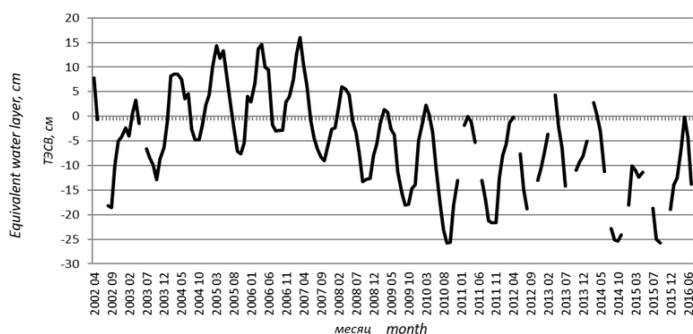


Рис. 2. Пример вариации значений ТЭСВ за период 2002–2016 гг.

Fig. 2. Variation of terrestrial water storage in 2002–2016

Сезонность вариации значений выражается в следующем: значения временного ряда в течение года имеют форму, близкую к синусоиде. Сначала идет подъем к весенним месяцам, затем подъем сменяется спадом в осенних месяцах. Самые высокие значения за год отмечаются в марте, апреле, мае, июне, самые низкие значения — в сентябре, октябре и ноябре. Анализ полученных данных показал, что сезонность связана с ежемесячным изменением климатических условий (рис. 3).

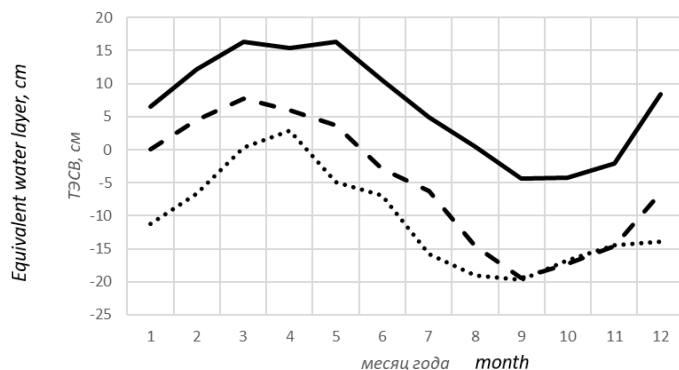


Рис. 3. Примеры вариации значений ТЭСВ в течение года: сплошная линия – в 2005 г.; пунктирная – в 2010 г.; точечная – в 2013 г.

Fig. 3. Variations of terrestrial water storage during the year: solid line – in 2005; dash line – in 2010; dotted line – in 2013

Представленные примеры отражают общую закономерность практически для всех проанализированных пространственных ячеек с данными по ТЭСВ.

В 2005 г. преобладают положительные значения ТЭСВ в течение почти всего года. В весенние месяцы величина этого параметра достигает максимума (> 15 см). Отрицательные значения отмечаются лишь в осенние месяцы.

В 2010 г. картина значительно меняется: в году начинают преобладать отрицательные значения. ТЭСВ достигает минимума в сентябре. Невысокие положительные значения сохраняются лишь в феврале, марте, апреле, мае.

В 2013 г. положительные значения почти совсем отсутствуют (за исключением апреля).

Все это свидетельствует об отрицательном тренде общей обводненности территории области за анализируемый период.

Отдельно для каждой пространственной ячейки измерений ТЭСВ был проведен расчет ежегодной амплитуды его значений для периода 2002–2015 гг. (рис. 4). В ходе ежегодной динамики внутригодовых измерений общей обводненности можно выделить определенную периодичность.

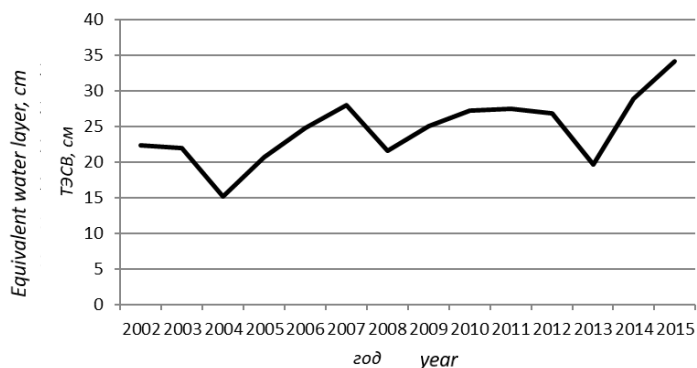


Рис. 4. Изменение годовой амплитуды значений общей обводненности в период 2002–2015 гг.

Fig. 4. Changes in the annual amplitude of terrestrial water storage in 2002–2015

В 2002—2003 гг. наблюдаются близкие значения годовой амплитуды (плато), 2004 г. характеризуется ее резким спадом, с 2005—2007 гг. отмечается рост значений, затем в 2008 г. значение годовой амплитуды приближается к уровню 2005 г. и до 2010 гг. возрастает схожим образом. Характер значений в 2011—2015 гг. близок к периоду 2002—2006 гг. (сначала плато сменяется резким спадом, которое переходит в ступенчатый рост), но с повышением годовой амплитуды на порядок.

Таким образом, годовая амплитуда ТЭСВ на территории исследований возрастает, что является свидетельством возрастания внутригодовой контрастности условий увлажнения и скорее всего связано со спецификой наблюдаемых климатических изменений.

Путем построения графиков и добавления к ним линии тренда изменения данных в программе MS Excel определялся угол наклона тренда ТЭСВ для центра каждой пространственной ячейки в отдельности. На основании полученных данных и их интерполяции в ГИС была построена карта углов наклона линии тренда (рис. 5). Согласно карте изменения углов наклона тренда ТЭСВ было выяснено, что по всей территории наблюдается отрицательный тренд вариации значений. Причем показатель довольно сильно варьирует по области. С северо-запада на юго-восток происходит понижение угла наклона тренда (с $-0,11$ до $-0,14$). Наибольшую площадь занимает значение тренда в пределах $-0,11$ до $-0,12$. Для крайнего запада Белгородской области характерен угол наклона тренда $-0,10$, для крайнего юго-востока — $-0,13$ (рис. 5).

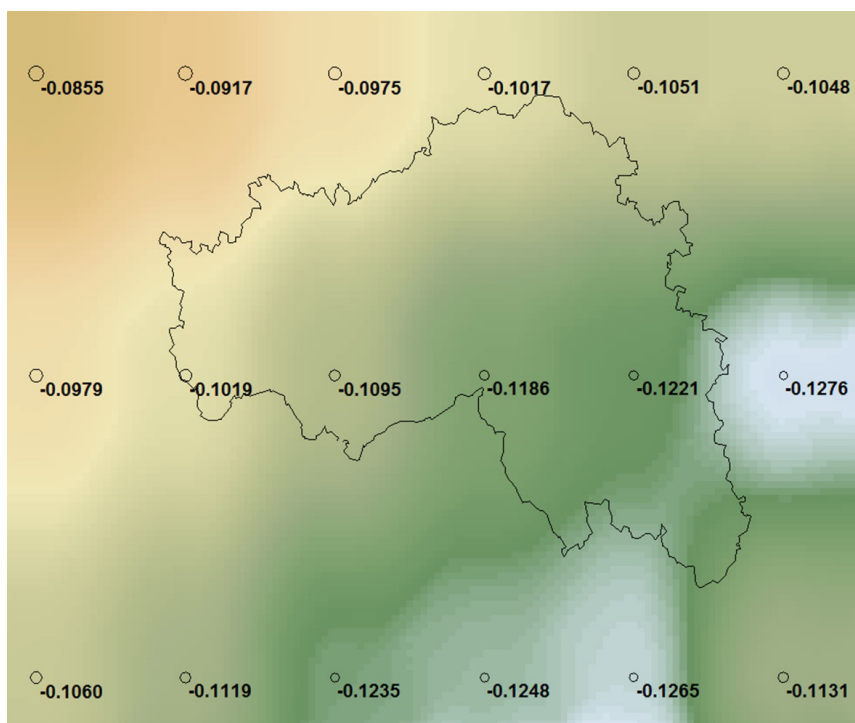


Рис. 5. Карта углов наклона линии тренда ТЭСВ: цветом и числами на карте показаны значения угла наклона линейного тренда; черная линия — граница Белгородской области

Fig. 5. Map of the slope angles of the terrestrial water storage trend line: the values of slope of linear trend are shown on the map with color and numbers; black line — the border of the Belgorod region

Что касается периодичности, то на всей территории очень хорошо выражен многолетний максимум ТЭСВ в 2006 г. Еще один — менее выраженный локальный максимум — наблюдается в 2013 г. Локальные многолетние минимумы ТЭСВ приурочены к 2002, 2009 и 2015 гг. (см. рис. 1).

Был проведен анализ двух временных рядов (ТЭСВ и КВБ) за период 2003—2011 гг. с помощью Distributed Lags Analysis (анализ распределенных лагов). В анализе Distributed Lags Analysis временные ряды сопоставлялись с лагом равным сезонности данных (12 месяцев). В качестве независимого временного ряда был представлен КВБ, зависимого — ТЭСВ.

В результате проведенного анализа была обнаружена связь между временными рядами с лагом, значение которого колеблется в пределах 2...4 месяца (наибольшее t -значение). Это говорит о том, что изменения в климатическом водном балансе сказываются на ООТ с задержкой в 2...4 месяца.

На основании полученных данных анализа с помощью интерполяции данных методом Moving Average были построены карты пространственного варьирования в пределах области размера лага и значений R^2 регрессии между КВБ и ТЭСВ (рис. 6). Согласно рисунку в южной и центральной части территории области распространен лаг в пределах 3...4 месяцев. Лаг, равный 2 месяцам, преобладает на западе, востоке, юго-востоке и севере.

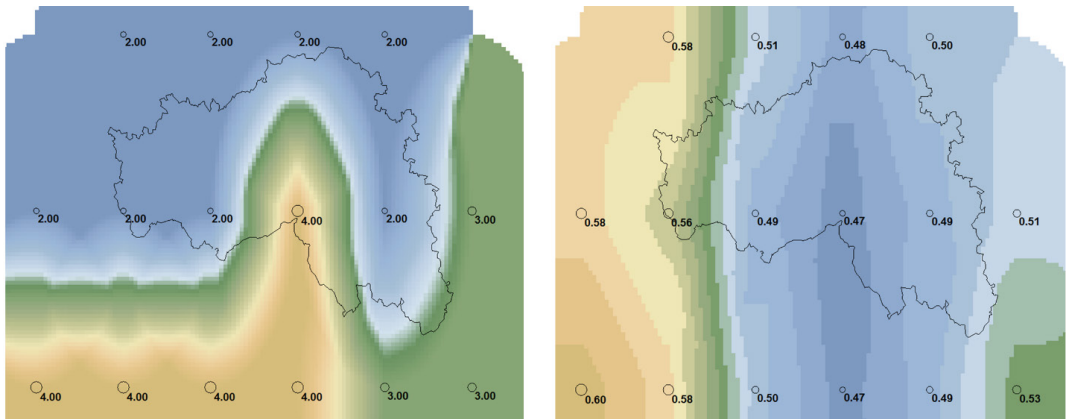


Рис. 6. Результаты анализа распределенных лагов: слева — карта размера лага; справа — карта значений R^2

Fig. 6. Results of the distributed lags analysis: left — a map of lag size; right — a map of R^2 values

Коэффициент детерминации довольно сильно варьирует на территории области. В целом значение коэффициента увеличивается с центральной части к западной, северной и восточной. Преобладает значение R^2 в пределах 0,47...0,50 (p -значения 0,005...0,011). Максимум R^2 достигается на западе области (0,57, p -значение 0,002) (см. рис. 6).

Необходимо отметить, что подобный временной лаг между ТЭСВ и метеоданными уже отмечался исследователями ранее [13]. Но, в отличие от нас, ими была выявлена связь с температурой воздуха на высоте 2 метра, а не с КВБ. Кроме того,

в отдельных частях области лаг составил 3...4 месяца. По-видимому, размер лага зависит от специфики климатических условий и общей обводненности конкретной территории.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что начиная с 2008 г. на территории Белгородской области отмечается устойчивая тенденция понижения общей обводненности, преобладание отрицательных значений. Минимум достигает наименьших значений по сравнению со всем изучаемым периодом. При этом сезонность изменения значений сохраняется в течение всего временного ряда. Периодичность изменения общей обводненности на всей территории исследований выражена не очень четко: хорошо выражен лишь многолетний максимум ТЭСВ в 2006 г. Еще один, менее выраженный локальный максимум наблюдается в 2013 г. Локальные многолетние минимумы ТЭСВ приурочены к 2002, 2009 и 2015 гг.

Отмечается положительный тренд амплитуды сезонных колебаний общей обводненности территории: в последние годы амплитуда постоянно нарастает.

На всей территории Белгородской области наблюдается отрицательный многолетний тренд значений ТЭСВ. Выявлено достаточно большое пространственное варьирование тренда на территории области. С северо-запада на юго-восток происходит понижение угла наклона тренда.

Проведенный анализ сопряженности временных рядов ТЭСВ и климатического водного баланса выявил значимую связь с преобладающим лагом в 2...4 месяца. При этом на юге и в центральной части области лаг составляет 3...4 месяца.

Полученные данные могут быть использованы при принятии упреждающих управленческих решений в области развития растениеводства области. На основе спутниковых данных GRACE существует возможность заблаговременного прогнозирования общей обводненности территории области. Подобная информация является основой для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, а также для планирования сева тех культур, которые могут быть наиболее урожайными с учетом подобных прогнозов в конкретном сезоне вегетации.

Библиографический список

1. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л.: Изд-во АН СССР, 1969. 284 с.
2. Савин И.Ю. Реакция почвенного покрова на гелио-геофизически обусловленные колебания климата // География и природные ресурсы. 1993. № 3. С. 11—18.
3. Роде А.А. Многолетняя изменчивость атмосферных осадков и элементов водного баланса почв. Избранные труды. М.: Наука, 2009. Т. IV. С. 479—578.
4. Чендев Ю.Г., Лебедева М.Г., Матвеев С.М., Петин А.Н., Долгих А.В., Смирнова Л.Г., Соловьев А.Б., Кухарук Н.С., Крымская О.В., Нарожняя А.Г., Терехин Э.А., Березуцкий В.Д., Голотвин А.Н., Сарапулкин В.А., Сарапулкина Т.В., Федюнин И.В., Польшина М.А., Митрайкина А.М., Калугина С.В., Полякова Т.А., Белванцев В.Г., Вагурин И.Ю., Толстопятова О.С., Борбукова Д.А., Тимащук Д.А., Дудин Д.И., Дудина Е.В., Тарубарова А.Н., Смирнов Г.В., Кухарук С.А., Тимошенко А.И., Тимохов И.С. Почвы и растительность юга Среднерусской возвышенности в условиях меняющегося климата. Белгород: БелГУ, 2016. 326 с.
5. Разумов В.В., Иванов А.Л., Савин И.Ю., Шаповалов Д.А., Разумова Н.В., Беккиев М.Ю., Шагин С.И., Молчанов Э.Н., Козлов Д.Н. Переувлажнение и подтопление земель в регионах России. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2018. 280 с.
6. Разумов В.В., Молчанов Э.Н., Глушко А.Я., Разумова Н.В. К проблеме подтопления земель на юге Европейской части России // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2014. № 73. С. 3—28.

7. Базыкина Г.С., Бойко О.С. Влияние аномальных погодных условий последних десятилетий на водный режим типичных черноземов заповедной степи (Курская область) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 833—844.
8. Чеве́рдин Ю.И. Изменение свойств почв Юго-Востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия. Воронеж: Истоки, 2013. 334 с.
9. Sun A.Y. Predicting groundwater level changes using GRACE data // *Water resources research* // 2013. Vol. 49. Pp. 5900—5912.
10. Longuevergne L., Wilson C.R., Scanlon B.R., Crétaux J.F. GRACE water storage estimates for the Middle East and other regions with significant reservoir and lake storage // *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 2012. Vol. 9. № 10. Pp. 11131—11159. doi: 10.5194/hessd-9-11131-2012
11. Banerjee Ch., Kumar D.N. Identification of prominent spatio-temporal signals in grace derived terrestrial water storage for India // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014. Vol. 40. № 8. P. 333. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-8-333-2014
12. Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Григорьев В.Ю., Харламов М.А. Использование спутниковой системы измерения поля гравитации земли (GRACE) для оценки водного баланса крупных речных бассейнов // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2015. № 4. С. 27—34.
13. Киселев А.В., Муратова Н.Р., Горный В.И., Тронин А.А. Связь запасов продуктивной влаги в почве с полем силы тяжести Земли (по данным съемок спутниками GRACE) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 6. С. 7—16.
14. Киселев А.В., Горный В.И., Крицук С.Г., Тронин А.А. Индикация опасных природных явлений вариациями гравитационного поля Земли (по данным спутниковых съемок системой GRACE) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2016. Т. 13. № 6. С. 13—28. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-13-28
15. Савин И.Ю., Марков М.Л., Овечкин С.В., Исаев В.А. Тренд общей обводненности европейской части России, выявленный по спутниковым данным GRACE // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2016. № 82. С. 28—41.
16. Wahr J., Molenaar M., Bryan F. Time-variability of the earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE // *J. Geophys. Res.* 1998. Vol. 103. No 30. Pp. 205—230. doi: 10.1029/98JB02844
17. Tapley B.D., Bettadpur S., Watkins M., Reigber C. The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results // *Geophys. Res. Lett.* 2004. Vol. 31. L09607. Pp. 1—4.
18. Swenson S.C., Wahr J. Post-processing removal of correlated errors in GRACE data // *Geophys. Res. Lett.*, 2006. Vol. 33. № 3. L08402. doi:10.1029/2005GL025285
19. Landerer F.W., Swenson S.C. Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates // *Water Resources Research*. 2012. Vol 48. W04531. 11 PP. doi: 10.1029/2011WR011453

References

1. Shnitnikov AV. *Vnutrivekovaya izmenchivost' komponentov obshchei uvlazhnennosti*. [Intra-Century variability of components of General humidification]. Leningrad: USSR Academy of Sciences Publ.; 1969. (In Russ).
2. Savin IY. Reaction of the soil cover to Helio-geophysically determined climate fluctuations. *Geography and Natural Resources*. 1993; (3):11—16. (In Russ).
3. Rode AA. Long-term variability of atmospheric precipitation and elements of soils water balance. In: *Izbrannye trudy. Tom 4. Problemy gidrologii pochv* [Selected proceedings. Volume 4. Problems of soil hydrology]. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute Publ.; 2009. p.479—578. (In Russ).
4. Chendev YG, Lebedev MG, Matveev SM, Petin AN, Dolgikh AV, Smirnova LG, et al. *Pochvy i rastitel'nost' yuga Srednerusskoi vozvyshechnosti v usloviyakh menyayushchegosya klimata* [Soil and vegetation of South Central Russian Upland in a changing climate]. Belgorod: Belgorod State University Publ.; 2016. (In Russ).
5. Razumov VV, Ivanov AL, Savin IY, Shapovalov DA, Razumova NV, Bekkiev MY. *Pereuvlazhnenie i podtoplenie zemel' v regionakh Rossii* [Waterlogging and flooding of lands in the regions of Russia]. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute Publ.; 2018. (In Russ).
6. Razumov VV, Molchanov EN, Glushko AY, Razumova NV. Problem of land flooding in the South of the European part of Russia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2014; (73):3—28. (In Russ).
7. Bazykina GS, Boyko OS. Influence of abnormal weather conditions of the last decades on water regime of typical chernozems of the reserved steppe (Kursk region). *Eurasian Soil Science*. 2008; (7):833—844. (In Russ).
8. Cheverdin YI. *Pereuvlazhnenie i podtoplenie zemel' v regionakh Rossii* [Change of soil properties in the South-East of the Central Chernozem region under the influence of anthropogenic impact]. Voronezh: Istoki Publ.; 2013. (In Russ).

9. Sun AY. Predicting groundwater level changes using GRACE data. *Water resources research*. 2013; 49(9):5900—5912. doi: 10.1002/wrcr.20421
10. Longuevergne L, Wilson CR, Scanlon BR, Crétaux JF. GRACE water storage estimates for the Middle East and other regions with significant reservoir and lake storage. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*. 2012. 9(10):11131—11159. doi: 10.5194/hessd-9-11131-2012
11. Banerjee C, Kumar DN. Identification of prominent spatio-temporal signals in grace derived terrestrial water storage for India. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2014; 40(8):333. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-8-333-2014
12. Zotov LV, Frolova NL, Grigoriev VY, Kharlamov MA. Using the satellite system for measuring the earth's gravity field (GRACE) to assess the water balance of large river basins. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5, Geografia*. 2015; (4):27—34. (In Russ).
13. Kiselev AV, Muratova NR, Gorny VI, Tronin AA. Relation between available water content in soil and gravity force (from GRACE data). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2015; 12(6):7—16. (In Russ).
14. Kiselev AV, Gorny VI, Kritsuk SG, Tronin AA. Indication of dangerous natural phenomena by variations of the Earth's gravitational field (according to satellite surveys by the GRACE system). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2016; 13(6):13—28. (In Russ). doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-13-28
15. Savin IY, Markov ML, Ovechkin SV, Isaev VA. the Trend of General waterlogging in the European part of Russia revealed by GRACE satellite data. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2016; (82):28—41. (In Russ).
16. Wahr J, Molenaar M, Bryan F. Time-variability of the earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using GRACE. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. 1998; 103(B12):30205—30229. doi: 10.1029/98JB02844
17. Tapley BD, Bettadpur S, Watkins M, Reigber C. The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results. *Geophys Res Lett*. 2004; 31(9): L09607. doi: 10.1029/2004GL019920
18. Swenson S, Wahr J. Post-processing removal of correlated errors in GRACE data. *Geophys Res Lett*. 2006; 33(8): L08402. doi: 10.1029/2005GL025285
19. Landerer FW, Swenson SC. Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates. *Water Resources Research*. 2012; 48(4): W04531. doi: 10.1029/2011WR011453

Об авторах:

Савин Игорь Юрьевич — доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заместитель директора ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Российская Федерация, 109017, г. Москва, Пыжевский переулок, д. 7; профессор, Экологический факультет, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: savin_iyu@esoil.ru
ResearcherID: H-8117-2013
Scopus Author ID: 7003650252
ORCID: 0000-0002-8739-5441

Габдуллин Бахытнур Сартаевич — аспирант, географический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119991, г. Москва, ул. Ленинские Горы, д. 1; e-mail: gabdullin10.92@mail.ru
Scopus Author ID: 57194509307

About authors:

Savin Igor Yurievich — Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director, Dokuchaev Soil Science Institute, 7 Pyzhevsky lane, Moscow, 109017, Russian Federation; Professor, Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia, 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: savin_iyu@esoil.ru
Researcher ID: H-8117-2013
Scopus Author ID: 7003650252
ORCID: 0000-0002-8739-5441

Gabdullin Bakhytnur Sartavich — PhD student, Geography Department, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory st., Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: gabdullin10.92@mail.ru
Scopus Author ID: 57194509307

Животноводство Animal breeding

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-375-390

УДК 579.8:636.52/.58

Научная статья / Research article

Влияние пробиотика СУБ-ПРО на мясную продуктивность цыплят-бройлеров

**Д.В. Никитченко, В.Е. Никитченко, Д.В. Андрианова, Е.О. Рысцова*,
К.М. Кондрашкина**

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

*rystsova_eo@pfur.ru

Аннотация. Изучали динамику живой массы и морфологический состав тушек курочек кросса Росс 308 в 1-, 21-, 28-, 34-, 38- и 42-суточном возрасте при включении в рацион пробиотика СУБ-ПРО вместо кормового антибиотика Максус G в количестве 100 г/т корма. К 42-суточному возрасту курочки контрольной группы (I) достигли живой массы 2234±28,4, опытные (II) — 2329±27,3 г, а получавшие кормовой антибиотик (III) — 2320±33,4 г. Курочки II группы к 42-суточному возрасту по живой массе превосходили I группу на 95 г или на 4,25 % ($P \leq 0,05$), III группы — на 86 г или на 3,85 %. По массе тушек опытная группа превосходила контрольную на 4,60 % ($P \leq 0,05$), III группа — на 4,53 %. Далее мясную продуктивность курочек, получавших кормовой антибиотик, не изучали, так как это не представляет практической значимости. За весь период выращивания среднесуточный прирост живой массы курочек контрольной группы составил 52,20 г, опытной — 54,46 г. Относительная масса мышечной ткани в тушках бройлеров опытной группы с суточного до 42-суточного возраста повысилась с 55,34 до 66,37 %, в то время как относительная масса костей снизилась с 33,23 до 16,78 %. У курочек к 42-суточному возрасту абсолютная масса мышц по сравнению с массой суточных увеличилась в 123,47, костей — 51,91 раза. Данные анатомической разделки тушек показали, что в тушках курочек в пищевом отношении по содержанию мышечной ткани и костей наиболее ценны: грудка — 84,63 и 8,25 %, бедро — 75,66 и 12,54 % соответственно; менее ценные: голень — 67,86 и 20,98 %, крыло — 50,58 и 33,53 % соответственно. Диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы у 42-суточных бройлеров составляет 55,20 мкм; содержание воды — 75,10 %, жира — 1,60 %, белка — 22,31 %. По микробиологическим показателям мясо тушек отвечает требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 31468—2012. Включение в рацион курочек пробиотика СУБ-ПРО, вместо кормового антибиотика, не снижает продуктивности, но исключает негативные последствия от применения антибиотика.

Ключевые слова: цыплята бройлеры, рост, морфология тушек, ткани, мышечные волокна, химический состав мышц, микробиология мяса, пробиотики

© Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Андрианова Д.В., Рысцова Е.О., Кондрашкина К.М., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

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

Финансирование. Исследование проведено при финансовой поддержке Программы РУДН «5—100».

История статьи:

Поступила в редакцию: 8 октября 2020 г. Принято к публикации: 12 ноября 2020 г.

Для цитирования: Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Андрианова Д.В., Рысцова Е.О., Кондрашкина К.М. Влияние пробиотика СУБ-ПРО на мясную продуктивность цыплят-бройлеров // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 375—390. doi: 10.22363/2312–797X-2020–15–4–375–390

Influence of SUB-PRO probiotic on meat productivity of broiler chickens

Dmitry V. Nikitchenko, Vladimir E. Nikitchenko, Darya V. Andrianova,
Ekaterina O. Ristsova*, Ksenya M. Kondrashkina

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: rystsova-eo@pfur.ru

Abstract. We studied dynamics of live weight and morphological composition of carcasses in Ross 308 chickens at 1-, 21-, 28-, 34-, 38- and 42-day ages when SUB-PRO probiotic was included in the diet instead of Maxus G feed antibiotic in amount of 100 g/ton of feed. By the age of 42, chickens in the control group (I) reached a live weight of 2234 ± 28.4 g, chickens in the experimental group (II) — 2329 ± 27.3 g, and chickens who took feed antibiotic (III) — 2320 ± 33.4 g. Live weight of chickens of the II group by the age of 42 days exceeded the I group by 95 g or 4.25 % ($P \leq 0.05$), the III group — by 86 g or 3.85 %. In terms of carcass weight, the experimental group exceeded the control group by 4.60 % ($P \leq 0.05$), group III — by 4.53 %. The meat productivity of chickens taking antibiotic was not studied further, since that had no practical significance. Over the entire period of rearing, the average daily gain in live weight in control chickens was 52.20 g, in the experimental chickens — 54.46 g. The relative muscle weight in broiler carcasses of the experimental group increased from 55.34 to 66.37 %v from 1 to 42 days of age, while the relative bone weight decreased from 33.23 to 16.78 %. By the age of 42, absolute muscle and bone weight had 123.47- and 51.91-fold increase, respectively, in comparison with diurnal weight. The data of anatomical cutting of chicken carcasses showed that, in terms of muscle and bone content, the most valuable were: breast — 84.63 and 8.25 %, thigh — 75.66 and 12.54 %, respectively; less valuable: drumstick — 67.86 and 20.98 %, wing — 50.58 and 33.53 %, respectively. Diameter of muscle fibers of superficial pectoralis muscle in 42-day-old broilers was 55.20 μm ; water content — 75.10 %, fat — 1.60 %, protein — 22.31 %. In terms of microbiological parameters, carcass meat meets the requirements of GOST 31468—2012 interstate standard. The inclusion of SUB-PRO probiotic in chicken diet instead of antibiotic does not reduce productivity, but excludes the negative consequences of antibiotic use.

Key words: broiler chickens, growth, carcass morphology, tissues, muscle fibers, chemical composition of muscles, meat microbiology, probiotic

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

Acknowledgments. The research was supported by the RUDN University Program Project 5—100.

Article history:

Received: 8 October 2020. Accepted: 12 November 2020

For citation:

Nikitchenko DV, Nikitchenko VE, Andrianova DV, Ristsova EO, Kondrashkina KM. Influence of SUB-PRO probiotic on meat productivity of broiler chickens. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):375—390. (In Russ). doi: 0.22363/2312–797X-2020–15–4–375–390

Введение

Продовольствие составляет базисный комплекс жизнеобеспечения человека и является одной из самых важных государственных задач. Важную роль в этом плане играют продукты животного направления, в особенности мясо, которое в основном получают за счет развития птицеводства.

В 2019 г., по расчетам ФГБУ «Центр Агроаналитики», доля мяса птицы в общем объеме производства мяса составила 5,1 млн т, или 46,2 %, на душу населения — 34,5 кг / год. Средневзвешенная цена на мясо кур в убойной массе у российских сельхозтоваропроизводителей уменьшилась на 13 % и составила 104,13 руб./кг. В январе 2020 г. по данным Росстата средние потребительские цены на мясо кур снизились до 140,7 руб./кг (без НДС), что дает возможность приобретения ее во всех населенных пунктах страны в необходимом объеме и ассортименте [1].

В настоящее время в производстве птичьего мяса главным образом используются бройлеры кроссов: Росс 308, Кобб 500, Смена 8, Арбор Айкрес, Хаббард и др. [2].

В конце 1990-х — начале 2005 гг. для повышения мясной продуктивности бройлеров широко использовали кормовые антибиотики как стимуляторы роста. Они значительно повышают приросты, конверсию корма, сохранность поголовья. Кормовые антибиотики позволили бороться с многими кишечными расстройствами и инфекциями в птицеводстве, что повысило экономическую эффективность [3].

Но в результате бессистемного и длительного использования кормовых антибиотиков возникла проблема появления устойчивости к ним патогенных микроорганизмов. Выявлено, что при употреблении человеком продуктов убоя птицы с оставшимися антибиотиками в организме человека микроорганизмы становятся резистентными к антимикробным препаратам, применяемым с лечебной целью. Поэтому антибиотикотерапия часто становится неэффективна [4, 5].

Из-за этого в США и в ЕС в 2006 г., а затем и в России установили запрет на использования кормовых антибиотиков в промышленном животноводстве в качестве стимулирования продуктивности [6].

В странах ЕС применение антибиотиков контролируют в обязательном порядке с целью обеспечения безопасности производства продуктов питания для потребителей [7].

В последние годы в России продолжают включать в рационы птиц заниженные дозы антибиотиков, именуя их кормовыми антибиотиками (или противомикробными стимуляторами роста), что ведет к естественному эволюционному процессу адаптации и устойчивости некоторых штаммов микроорганизмов в организме человека. По данным Минздрава РФ, около 20 % россиян на сегодняшний день обладают антибиотикорезистентностью.

В связи с этим взамен кормовых антибиотиков для птицы стали использовать пробиотики, пребиотики, фитобиотики, ускорители роста полезной микрофлоры, эфирные масла и др. [8].

Пробиотики улучшают микрофлору желудочно-кишечного тракта, но они малоэффективны в подавлении патогенной микрофлоры, хотя являются антагани-

стами антибиотиков, а также неустойчивы при температурной обработке и высокой кислотности [9].

Пребиотики способствуют росту полезной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, но малоэффективны без пробиотиков [10].

Наряду с пробиотиками в [11] изучали эффективность использования добавок с сорбционными свойствами на основе маннанолигосахаридов — СафМаннан и Им-мунностан в рационе цыплят-бройлеров, вместо кормового антибиотика в составе комбикорма. Установлено, что введенные в рационы препараты вполне могут заменить кормовой антибиотик. Подтверждением этого являются морфологические показатели печени, свидетельствующие об отсутствии патологических изменений в органе к концу откорма и повышением прироста живой массы и сохранности цыплят [12].

В [13] установили эффективность и целесообразность обогащения рациона птицы кормовой добавкой на основе эфирных масел и растительных субстанций. Выявлено, что к 40-суточному возрасту у опытных бройлеров предубойная живая масса составила 2195,6 г против контрольных 2037 г, масса потрошенных тушек — 1493 г против 1323 г, относительная масса мышц грудки — 24,20, кожа — 3,30, жир — 2,90 и кости — 3,60 %.

Вместе с тем ряд авторов отмечают [8, 10], что эфирные масла, в зависимости от их состава, обладают широким спектром действия, но они нестабильны, так как являются летучими веществами, а их состав никогда не бывает четко определен.

В настоящее время для повышения мясной продуктивности и получения экологически чистого мяса в рацион бройлеров взамен кормового антибиотика включают фитобиотики. Так, фитобиотик Сангровит — продукт растительного происхождения, повышает продуктивность животных. К минусам данного продукта можно отнести низкую дозировку, что иногда вызывает трудности при смешивании непосредственно на кормозаводах [10].

По данным [14, 15], при включении в рацион бройлерам кросса «Кобб 500» фитобиотика Интебио повышается скорость роста и к 42-суточному возрасту петушков получают тушки массой 2100 г. Их масса по сравнению с суточными увеличивается в 160,96 раза, масса курочек — в 138,23 раза, масса костей — 66,16 и 57,20 раза соответственно; относительная масса мышечной ткани увеличивается у петушков на 11,65, у курочек на 9,91 %, но костей уменьшается — соответственно на 16,69 и 16,51 %; у петушков 42-суточного возраста содержится мышечной ткани: в грудке — 86,50, в бедре — 76,54 %, в ткани костей — 7,76 и 11,73 %, диаметр мышечных волокон составляет 58,7 мкм.

Вместе с тем следует отметить, что при интенсивном откорме и выращивании бройлеров в клетках в мышцах возникают PSE-пороки [1, 16–18]. При PSE-пороке в мясе бройлеров повышено содержание воды на 1,7...1,9 %, жира — на 1,1...1,3 %, а также высокая контаминация микроорганизмами [17]. Данный процесс ведет к дегенеративному некрозу с атрофией мышечных волокон, фолликулярному и зернистому разложению, макрофагальной инфильтрации, пролиферации соединительной ткани, эозинофильной и фагоцитарной инфильтрации [13, 17, 19].

Технологии. При сравнении выращивания птицы в закрытых помещениях и клетках с птицей при выгульном содержании, получающей дополнительный

подножный корм, свежий воздух и солнечный свет, у последней наблюдается улучшение процессов обмена веществ, и из такой птицы получается более качественная продукция [11, 20, 21].

Цель исследования — изучение возможности инновационного применения пробиотика СУБ-ПРО для повышения мясной продуктивности цыплят-бройлеров и получения экологически чистого мяса.

Материалы и методы исследований

Опыты проводили на 3 группах бройлеров кросса Росс 308 в соответствии с требованиями Европейской конвекции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или научных исследований [22].

Работа выполнена в департаменте ветеринарной медицины Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов в период с 2017 по 2020 гг.

Материалом для исследования послужили бройлеры из ВНИТИП. Исследования проводились в условиях вивария СГЦ «Загорское ЭПХ» на курочках кросса Росс 308, которых отобрали в суточном возрасте. Цыплят с первых до 42-х суток содержали в клеточных батареях типа Р-15 по 35 голов в клетках.

Кормление птицы осуществлялось рассыпными комбикормами по нормам для бройлеров, сбалансированными по питательным веществам, энергии, витаминам, микроэлементам. Плотность посадки, фронт поения и кормления, температурный, влажностный и световой режимы для всех групп были одинаковыми и во все возрастные периоды соответствовали рекомендациям ВНИТИП [23].

Для повышения мясной продуктивности бройлеров использовали пробиотик СУБ-ПРО (ООО «ВекторЕвро», Россия, 24 мес.), представляющий собой водорастворимый порошок, содержащий живую микробную культуру штамм *Bacillus subtilis* 2335 с повышенным синтезом интерферона и пищеварительных ферментов в концентрации 5×10^{10} микробных клеток в 1 г, оказывающий полезное действие на организм птицы путем улучшения его кишечного микробного баланса [3, 9, 24, 25].

Основной рацион (ОР) контрольной группы (I) был сбалансирован по всем питательным веществам в соответствии с нормами ВНИТИП [23], второй группе (II) в ОР включали в воду растворимый пробиотик СУБ-ПРО в количестве 10 мг/л воды; третьей группе (III) в ОР добавляли кормовой антибиотик Максус G в количестве 100 г/т корма.

Динамику живой массы, морфологические исследования тушек определяли в следующих возрастах бройлеров: 1, 21, 28, 34, 38 и 42 сут. Суточные цыплята служили исходным материалом для обработки данных.

Курочек всех возрастных групп подвергали убою по 4 головы. В 34-, 38- и 42-суточном возрасте убой осуществляли на малой конвейерной линии убойного цеха СГЦ «Загорское ЭПХ» согласно принятой у них технологии.

Полученные тушки помещали в холодильник (0 ± 4 °С) на 24 ч. Затем в исследовательской лаборатории департамента ветеринарной медицины Аграрно-технологического института 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 (новорожденных до 0,1 г).

Гистологические исследования мышц проводили по ГОСТ 1946—2013; химические исследования: определение воды проводили по ГОСТ 9793—2016, жира — по ГОСТ 23042—2015, белка — ГОСТ 25011—2017; микробиологические исследования мяса проводили по методикам, описанным в ГОСТ Р 50396.1—2010, ГОСТ 31468—2012, ГОСТ 32031—2012.

Статистическую обработку полученных данных проводили по программному обеспечению JMP Trial 14.1.0. Достоверность различий устанавливали по t-критерию Стьюдента.

Результаты исследований и обсуждение

Сохранность поголовья бройлеров за период выращивания составила 100 %, затраты корма на 1 кг прироста контрольной группы курочек составили — 1,703, опытной — 1,640 г [9, 26].

Морфологический состав тушек. Данные курочек по динамике живой массе и массе потрошенных тушек отражены в табл. 1.

Таблица 1

Морфологический состав тушек курочек (по n = 4)

Показатели	Возраст, сут.					
	1	21	28	34	38	42
Курочки контрольной группы						
Живая масса, г	41,5±0,50	901±12,3	1305±17,4	1672±21,8	1936±24,9	2234±28,4
Масса потрошенной тушки, г	16,24 ±0,30	588±10,2	898±13,5	1197±16,4	1398±18,1	1629±20,8
Относительная масса,% от массы тушки						
Масса мышц	55,34	60,54	63,03	65,08	65,74	66,42
Масса жира	—	1,02	1,67	2,26	2,72	3,01
Масса других тканей (кожа с остатками жира, остатки легких, почки)	11,42	10,54	11,81	11,95	13,09	13,69
Масса костей	33,23	27,89	23,50	20,72	18,45	16,88
Курочки опытной группы						
Живая масса, г	41,5±0,50	911±15,4	1343±20,14	1726±25,3	2017±22,3*	2329±27,3*
Масса потрошенной тушки, г	16,24 ±0,30	595±11,6	948±14,69	1243±18,7	1472±21,2*	1704±23,1*
Относительная масса,% от массы тушки						
Масса мышц	55,34	60,67	63,19	65,08	65,90	66,37
Масса жира	—	0,30	0,76	1,31	1,82	2,17
Масса других тканей	11,42	10,30	11,92	12,93	13,79	14,67
Масса костей	33,23	27,73	23,42	20,68	18,48	16,78

*P ≤ 0,05 (в сравнении с контрольной группой).

Morphological composition of chicken carcasses (n = 4)

Indicators	Age, days					
	1	21	28	34	38	42
Chickens (control)						
Live weight, g	41.5±0.50	901±12.3	1305±17.4	1672±21.8	1936±24.9	2234±28.4
Gutted carcass weight, g	16.24 ±0.30	588±10.2	898±13.5	1197±16.4	1398±18.1	1629±20.8
Relative weight,% of carcass weight						
Muscle weight	55.34	60.54	63.03	65.08	65.74	66.42
Fat weight	—	1.02	1.67	2.26	2.72	3.01
Weight of other tissues (skin with residual fat, remnants of the lungs, kidneys)	11.42	10.54	11.81	11.95	13.09	13.69
Bone weight	33.23	27.89	23.50	20.72	18.45	16.88
Chickens (Experimental group)						
Live weight, g	41.5±0.50	911±15.4	1343±20.14	1726±25.3	2017±22.3*	2329±27.3*
Gutted carcass weight, g	16.24 ±0.30	595±11.6	948±14.69	1243±18.7	1472±21.2*	1704±23.1*
Relative weight,% of carcass weight						
Muscle weight	55.34	60.67	63.19	65.08	65.90	66.37
Fat weight	—	0.30	0.76	1.31	1.82	2.17
Weight of other tissues	11.42	10.30	11.92	12.93	13.79	14.67
Bone weight	33.23	27.73	23.42	20.68	18.48	16.78

* P ≤ 0.05 (compared to the control group).

Среднесуточные приросты живой массы от суточного до 21-суточного возраста курочек контрольной группы составили 40,93 г, опытной — 41,40 г, с 21- до 28-суточного — 57,71 и 61,71 г, с 28- до 34-суточного — 61,17 и 63,83 г; с 34- до 38-суточного — 66,00 и 72,75 г, от 38- до 42-суточного — 74,50 и 78,0 г, за весь период выращивания бройлеров — 52,20 и 54,46 г соответственно. Кратность увеличения живой массы у 42-суточных курочек по сравнению с 1-суточными составила у контрольной группы — 53,83, опытной — 56,12 раза.

Живая масса курочек контрольной группы с 21- до 28-суточного возраста увеличилась на 404 г, или на 44,84 %, опытных — на 432 г, или на 47,42 %; с 28-х по 34-е сутки прирост составил 367 г, или 28,12 %, опытных — 383 г, или 28,52 %; с 34-х по 38-е сутки — 264 г, или 15,79 % и 291 г, или 16,86 %; с 38-х до 42-х суток прирост составил 298 г, или 15,39 % и 312 г, или 15,47 % соответственно.

Выход тушек курочек контрольной группы 34- и 42-суточного возрастов равнялся 71,59 и 72,92 %, опытной группы — 72,02 и 73,16 % соответственно. Среднесуточный прирост массы тушки с рождения по 28-е сутки контрольной группы составил 31,48 г, опытной — 33,28 г, с 34-х по 42-е сутки — 54,0 и 57,62 г. К 42-суточному возрасту курочки контрольной группы увеличили массу тушек по сравнению с суточными в 100,31 раза, опытной — 104,93.

Данные табл. 1 и рис. 1 показывают, что в тушках всех изучаемых нами возрастов курочек больше всего содержится мышечной ткани. Выявлено, что к 42-су-

точному возрасту у курочек контрольной группы масса мышц тушки увеличилась по сравнению с массой мышц суточных в 117,74 раза, опытных — 123,07 раза, из них у контрольной группы на 34-е сутки — в 84,77, опытной — 88,03 раза, у 42-суточных по сравнению с 34-суточными контрольных групп увеличилась в 1,39, опытных — 1,40 раза.

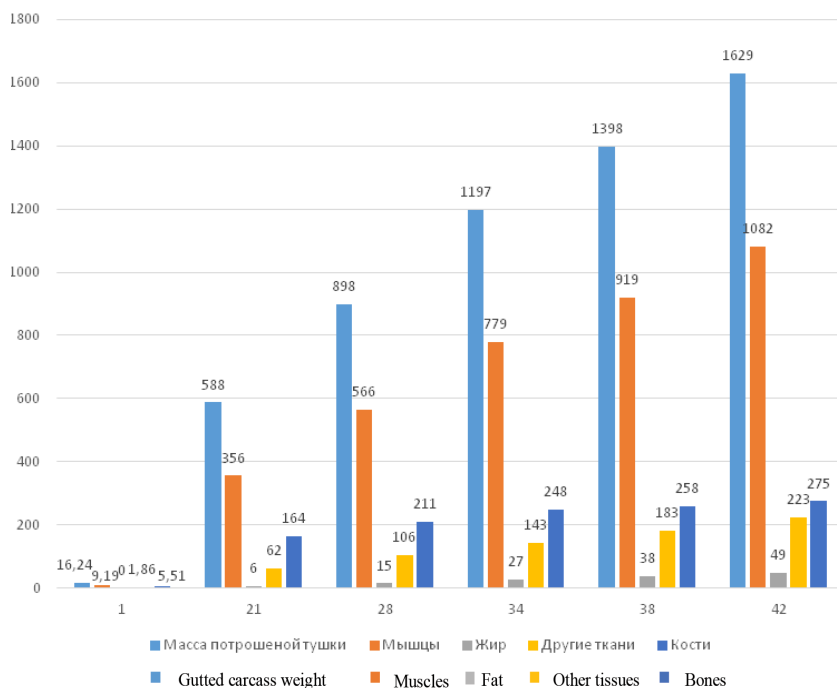


Рис. 1. Морфологический состав тушек курочек контрольной группы
Fig. 1. Morphological composition of chicken carcasses in the control group

Среднесуточный прирост мышечной ткани у курочек контрольной группы с суточного по 21-суточный возраст составил 16,37 г, опытных — 16,75 г, относительная масса контрольных групп (от массы потрошенной тушки) увеличилась на 5,20 %, опытной — на 5,23 %; с 21-х по 28-е сутки — в среднем в сутки на 30,0 (контрольных) и 34,0 г (опытных), относительная масса контрольных повысилась на 2,49 %, опытных — на 2,52 %, с 28-х по 42-е сутки прирост контрольной составил 36,86 г, опытной — 38,0 г, относительная масса контрольных групп повысилась на 3,39 %, опытных — на 3,18 %.

Как известно, для качества мяса важны жировые отложения. Жир откладывается в разных анатомических местах тела: под кожей, между мышцами и внутри мышц, в брюшной полости (абдоминальный жир), на кишках. По сравнению с другими видами животных у птиц жир наиболее легкоплавкий, нежный, ароматный и обуславливает сочность мяса. У бройлеров с возрастом при интенсивном кормлении образуется избыток жира. Поскольку образование его зависит от возраста и интенсивности выращивания, то процесс этот можно регулировать, убивая птицу в наиболее подходящие возрастные сроки.

В наших опытах содержание жира в тушках контрольной группы в 21-суточном возрасте равнялось 6 г, что составило 1,02 %, опытной — 3 г, или 0,30 %. При убойе цыплят в 34-суточном возрасте содержание жира в тушках контрольной и опытной группы составило 27 и 16 г соответственно, или 2,26 и 1,31 %, у 42-суточных курочек количество жира составило 49 и 37 г, или 3,01 и 2,17 % соответственно. Более половины жира приходилось на абдоминальный.

По динамике роста других тканей (кожа с остатками жира, остатки легких и почек) выявлено, что абсолютное содержание их в тушках контрольных курочек 34...42-суточного возраста колеблется в пределах 143...223 г, или 11,95...13,69 %, опытных — 161... 250 г, или 12,93...14,67 %.

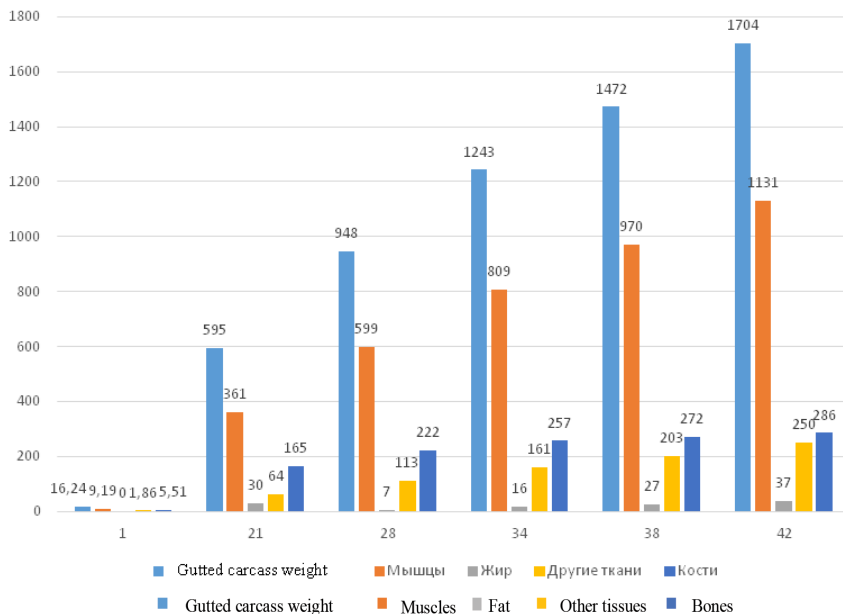


Рис. 2. Морфологический состав тушек курочек опытной группы

Fig. 2. Morphological composition of chicken carcasses in the experimental group

Кости. Из данных табл. 1 следует, что количество абсолютной массы костей в тушках контрольной группы курочек 42-суточного возраста по сравнению с суточными увеличилось в 49,91 раза, опытных — в 51,91 раза.

Среднесуточный прирост костей за весь период выращивания курочек контрольной группы составил 6,42 г, опытной — 6,68 г. До 28-суточного возраста прирост составлял у первых 7,34 г, у вторых — 7,73 г, с 28-х до 42-х суток — 4,57 г и 4,57 г.

Соотношение в тушках мышцы: кости в 34-суточном возрасте курочек в обеих группах составило 1: 3,15, в 42-суточном возрасте у контрольных — 1: 3,93 и у опытных — 1: 3,95.

Анатомическая разделка тушек. Отметим, что анатомическую разделку тушек курочек контрольных групп не проводили: так как по массе они близки к опытным (в 34-суточном возрасте разница по массе тушек курочек опытных и контрольных

групп составляет 46 г, 42-суточных — 75 г), то при разрубке тушек по анатомическим частям данные получают недостоверными.

Результаты исследований показывают, что наибольший выход в тушках опытных групп составляет грудка — 35,40 и 36,27 %. У 42-суточных курочек по сравнению с тушками 34-суточных абсолютная масса ее увеличилась на 178 г. Далее по относительной массе следует каркас (21,64 и 21,60 %), затем бедро (17,30 и 16,84 %), голень (13,68 и 13,15 %), крыло (10,70 и 9,98 %).

С возрастом курочек (с 34-х до 42-х суток) и увеличением массы тушек увеличивается выход грудки на 0,87 %, в то время как от остальных частей тушки уменьшается: бедра — на 0,46, голени — на 0,53, крыла — 0,72, каркаса — 0,04 %.

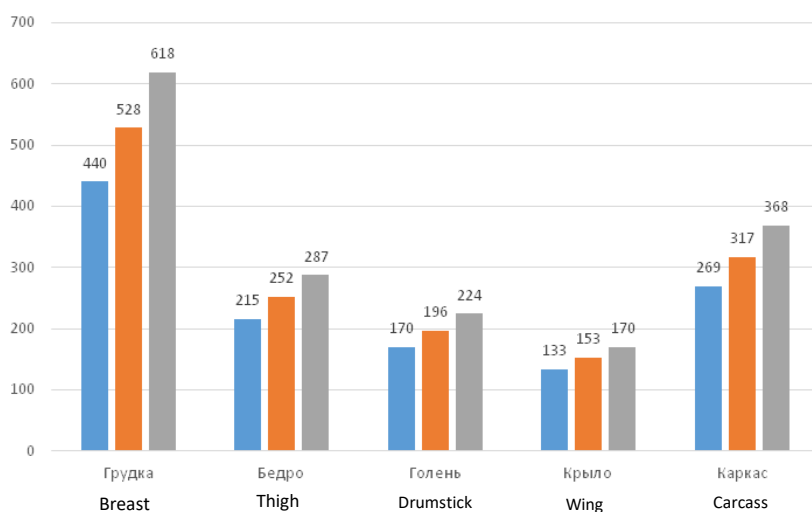


Рис. 3. Морфологический состав анатомических частей тушек опытной группы

Fig. 3. Morphological composition of chicken cuts in the experimental group

При анализе анатомических частей тушек видно, что больше всего мышечной ткани содержится в грудке, относительная масса ее (от массы тушки) у 34-суточных курочек составляет 29,77 %, 42-суточных — 30,69 %. С возрастом курочек в грудке относительная масса мышечной ткани увеличивается на 0,92 %, кожи с остатками жира — на 0,25 %, в то время как костей уменьшается на 0,31 % (по разнице).

Относительная масса мышц бедренной части уменьшается на 0,08 %, костей — 0,55 %, но кожи с остатками жира увеличивается на 0,17 %. С увеличением массы тушек в анатомической части голени относительная масса мышц уменьшается на 0,38 %, костей — на 0,62 %.

Относительная масса мышц крыла уменьшается на 0,05 %, в то время как костей уменьшается на 0,84 %.

Анализ анатомической части тушки каркаса показывает, что относительная масса мышц ее с увеличением массы тушки увеличивается (за счет мышц плечевого пояса, отходящих при разрубке на части) на 0,50 %, кожи с остатками жира — на 0,79 %, тогда как костей уменьшается на 0,22 %.

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

Гистологические исследования. Гистологические исследования мышц проводили с целью установления изменения диаметра мышечных волокон как показателя нарастания мышечной массы бройлеров.

Результаты исследований показывают, что увеличение диаметра мышечных волокон в разные возрастные периоды птицы очень отличается (табл. 2). Так, у контрольной группы курочек с суточного до 21-суточного возраста диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы увеличивается на 21,6 мкм, или ежесуточно на 1,03 мкм, опытной — соответственно на 23,48 и 1,12 мкм; с 21-х до 28-е сутки — на 8,3 мкм, или ежесуточно на 1,19 мкм, у опытной — на 8,9 и 1,27 мкм; с 28-х до 34-х суток — на 8,9 мкм, или ежесуточно — на 1,27 мкм; с 34-х до 38-х суток — на 4,2 мкм, или на 0,90 мкм, у опытной — на 4,1 и 1,03; с 38-х до 42-х суток — на 3,1 мкм, или ежесуточно — на 0,78 мкм, у опытной — на 3,4 и 0,85 мкм соответственно.

Таблица 2

Диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы курочек кросса Росс 308, мкм

Возраст, сут.	Контрольная группа	Опытная группа
1	8,30±0,25	8,32±0,25
21	29,9±3,17	31,8±3,03
28	38,2±4,15	40,7±4,05
34	44,7±4,84	47,7±4,92
38	48,3±5,60	51,8±6,07
42	51,4±6,21	55,2±7,78

Table 2

Diameter of muscle fibers in superficial pectoral muscle in Ross 308 chickens, μm

Age, days	Control group	Experimental group
1	8.30±0.25	8.32±0.25
21	29.9±3.17	31.8±3.03
28	38.2±4.15	40.7±4.05
34	44.7±4.84	47.7±4.92
38	48.3±5.60	51.8±6.07
42	51.4±6.21	55.2±7.78

К 42-суточному возрасту у курочек диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы контрольной группы увеличился на 43,1 мкм, или в 6,19 раза, опытной — на 46,88, или 6,63 раза.

Клеточное содержание бройлеров приводит к гиподинамии и при избыточном питании наблюдается нарушение ферментативных реакций и процессов обмена веществ, организм не в силах своевременно осваивать пищу, вследствие чего образуются недоокисленные продукты обмена веществ, обладающие токсичными

действиями. Их организм пытается вывести и, если функционально не успевает, то стремится снизить их вредное действие путем изолирования или разбавления межклеточной жидкости, что приводит к отечности тканей или образованию водных вакуолей с дистрофическими изменениями [17, 25]. Это подтверждают проведенные нами гистологические исследования на поверхностных грудных мышцах. У контрольной группы курочек наблюдалось расширение диаметра эндомизиума с накоплением межволоконной жидкости, в то время как у некоторых особей опытной группы обнаруживались волокна с вакуолями и инфильтрацией иммунокомпетентными клетками (лейкоцитами, фагоцитами).

Микробиологические исследования охлажденных мышц (на 2-е сутки после убоя) показали, что содержание БГКП в 1 г — 0,1; количество КМАФАиМ, КОЕ/см³ — $1 \cdot 10^3$ и находятся на грани допустимого нормативными документами безопасности мяса.

Химический состав. [27, 28] свидетельствуют о большом дефиците животного белка. Его суточное потребление в Европейских странах составляет 42...44 г на душу населения, в странах Дальнего и Ближнего Востока на каждого человека приходится по 15...20 г. В связи с этим проблема увеличения производства животного белка является актуальной.

Огромный интерес представляют исследования химического состава мяса птицы разного вида, кроссов, возраста, которые дают возможность получить представление о качестве мяса.

В данной работе химическому исследованию подвергли поверхностную грудную мышцу, как наиболее крупную мышцу в тушке, используемую чаще в виде полуфабриката.

Результаты химических исследований опытной группы показали, что в мышце больше всего содержится воды. Так, в мышцах суточных цыплят количество воды составляет 81,41 %, убойных цыплят-бройлеров, начиная с 34-суточного возраста — 76,90 %, в конце откорма (42-е сутки) — 75,10 %. С возрастом курочек количество воды в мышце уменьшается на 6,31 % ($P \leq 0,01$).

Особенно интенсивное снижение содержания воды в мышцах наблюдается в первые 28 дней жизни курочек — на 3,33 % (по разнице).

Если с возрастом курочек количество воды в мышцах уменьшалось, то содержание внутримышечного жира увеличилось с суточного 0,56 до 1,60 % на 42-е сутки) разница составила 1,04 % ($P \leq 0,01$), содержание белка в мышцах за этот же период повысилось с 17,00 до 22,31 %, или на 5,31 % (по разнице) при $P \leq 0,01$. Количество золы в мышцах колебалось в пределах от 1,01 до 1,06 %.

Следует отметить, что результаты химических исследований опытной группы отличались по химическому составу мышц между показателями курочек контрольной группы по содержанию воды и жира от 0,2 до 0,5 %, но различие недостоверно.

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

Результаты исследований получены на сертифицированном оборудовании с использованием современных методов исследования и обработки данных; ба-

зируются на анализе полученных сравнительных морфологических показателей, отражающих закономерности роста и развития тканей, мышц, жира и костей разных возрастных групп бройлеров при интенсивном выращивании, а также являются качественными показателями мяса.

Установлено:

- к 42-суточному возрасту курочки контрольной группы достигли живой массы $2234 \pm 28,4$ г, опытной — $2329 \pm 27,3$ г; превосходство по живой массе опытной группы над контрольной составило 4,25 % ($P \leq 0.05$); масса тушек опытной — $1704 \pm 23,1$ г, что больше контрольной — на 4,60 % ($P \leq 0.05$);
- относительная масса мышечной ткани с возрастом у опытной группы увеличилась по сравнению с суточными на 11,73 %, контрольной — 11,08 %, но костей уменьшилась — на 16,45 и 16,35 % соответственно (по разнице);
- в возрасте 42 суток в тушках курочек наиболее ценные в пищевом отношении являются следующие анатомические части: грудка и бедро по содержанию мышечной ткани — 84,63 и 76,66 %, костей — 8,25 и 12,54 % соответственно; менее ценная — голень (мышц — 67,86 %, костей — 20,98 %);
- диаметр мышечных волокон поверхностной грудной мышцы у 42-суточных бройлеров опытной группы с возрастом увеличивается в 6,63 раза и составляет 55,20 мкм;
- содержание в поверхностной грудной мышце воды равняется 75,10, жира — 1,60, белка — 22,31 %. С увеличением возраста курочек количество жира и белка увеличивается, в то время как содержание воды уменьшается;
- по микробиологическим показателям мясо тушек отвечает требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 31468—2012;
- включение в рацион бройлерам пробиотика СУБ-ПРО взамен кормового антибиотика способствует повышению мясной продуктивности и получению экологически чистого мяса.

Библиографический список

1. *Никитченко Д.В., Никитченко В.Е., Андрианова Д.В., Серегин И.Г.* Проблемы возникновения миопатий у бройлеров, выращенных на интенсивном промышленном откорме // Птица и птицепродукты. 2020. № 3. С. 32—35. doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-3-32-35
2. *Бобылева Г.А., Гуцин В.В.* Вступая в новый 2020 г. Подводим итоги и определяем задачи на будущее // Птица и птицепродукты. 2020. № 4. С. 4—6.
3. *Федотов В.А., Никитченко В.Е., Никитченко Д.В., Егоров И.А., Егорова Т.В.* Фитобиотик в кормлении птицы // Птицеводство. 2018. № 8. С. 33—37.
4. *Бауэр Н.Д.* Без антибиотиков // Эффективное животноводство. 2018. № 3. С. 30—31.
5. *Джавадов Э.Д., Вихрева И.Н., Папазян Т.Т., Щепеткина С.В., Прокофьева Н.И., Тарлавин Н.В.* Антибиотики в птицеводстве: альтернативные методы профилактики заболеваний и лечения птицы // Птицеводство. 2017. № 11. С. 41—46.
6. *Mohammad D. Hossain, Sayed M. Bulbul, Masahide Nishibori, Mohammad A. Islam.* Effect of Different Growth Promoters on Growth and Meat Yield of Broilers // *J. Poultry Science* 2008. Vol. 45. № 4. P. 287—291. doi: 10.2141/jpsa.45.287
7. *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2019 / Willer Helga, Julia Lernoud Eds.* Research Institute of Organic Agriculture (FiBL). Frick and IFOAM — Organics International, Bonn, 2019.
8. *Йылдырым Е.А., Ильина Л.А., Тюрина Д.Г., Дубровин А.В., Филиппова В.А., Новикова Н.И., Большаков В.Н., Лаптев Г.Ю.* Чем заменить антибиотики в птицеводстве? // Птицеводство. 2020. № 9. С. 41—46. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-9-41-46

9. Егоров И.А., Егорова Т.В., Криворучко Л.И., Брылин А.П., Белявская В.А., Большакова Д.С. Пробиотик в комбикормах для цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2019. № 3. С. 25—28.
10. Немчинова Е.А. Выращивание птицы без кормовых антибиотиков // Материалы XIX международной конференции ВНАП. 2018. С. 275—277.
11. Хорошевский А.П., Хорошевская Л.В. На пути к экологически чистой продукции // Птицеводство. 2017. № 11. С. 27—29. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-3-25-28
12. Воронова Е.Ю. Применение различных масел в комбикормах для бройлеров // Птицеводство. 2020. № 05—06. С. 51—56. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-5-6-51-56
13. Лаврентьев А.Ю., Шерне В.С. Влияние растительной кормовой добавки на мясную продуктивность и качество мяса цыплят-бройлеров // Птица и птицепродукты. 2020. № 1. С. 30—33. doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-1-30-33
14. Егоров И.А., Ленкова Т.Н., Вертипрахов В.Г., Манукян В.А., Егорова Т.А., Грозина А.А., Свиткин В.С., Лаптев Г.Ю., Новикова Н.И., Никонов И.Н. Использование комплексного фитобиотика в комбикормах для молодняка СГЦ «Смена» // Птицеводство. 2017. № 12. С. 15—19.
15. Свищева М.И. Рынок мяса птицы в России: Состояние и прогнозы // Птица и птицепродукты. 2020. № 2. С. 4—6.
16. 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. doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-4-30-33
17. Griffin J.R., Moraes L., Wick M., Lilburn M.S. Onset of white striping and progression into wooden breast as defined by myopathic changes underlying pectoralis P. major growth. Estimation of growth parameters as predictors for stage of myopathy progression // Avian Pathology. 2018. Vol. 47. № 1. P. 2—13. doi: 10.1080/03079457.2017.1356908
18. Nikitchenko V.E., Nikitchenko D.V., Plyusnikov V.G., Seregin I.G., Nikishov A.A., Rystsova E.O. Effect of complex phytobiotics on morphochemical characteristics of Cobb 500 cross mail broiler chicks // Bulgarian Journal of Agricultural Science. Vol. 25. № 3. 2019. P. 558—563.
19. Kijowski J., Kupińska E. The evaluation of selected quality parameters of broiler chicken muscles with Deep Pectoral Myopathy (DPM) symptoms // Arch. Geflügelk. 2013. Vol. 77. № 2. P. 102—108.
20. 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
21. Castellini C., Berri C., Le Bihan-Duval E., Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry // Poultry Sc. 2008. Vol. 64. № 4. P. 500—512.
22. Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS № 123). Страсбург, 1986. doi: 10.1017/S0043933908000172
23. Егоров И.А., Манукян В.А., Околелова Т.М. и др. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2018. 228 с.
24. Шацких Е.В., Нуфер А.И., Галиев Д.М. Натуральные альтернативные стимуляторы роста и их влияние на продуктивность цыплят-бройлеров // Птицеводство. 2020. № 1. С. 31—36. doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-1-31-36
25. Лукашенко В.С., Овейчик Е.А., Комаров А.А. Продуктивность и качество мяса цыплят при клеточном и выгульном выращивании // Птица и птицепродукты. 2020. № 1. С. 53—55. doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-1-53-55
26. Bogosalvljević-Bosovic S., Rakonjac S., Dosković V., Petrović M. Broiler rearing systems: a review of major fattening results and meat quality traits // World Poultry Sc. Association. 2012. Vol. 68. P. 217—228. doi: 10.1017/S004393391200027X
27. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAQ Expert Consultation, 31 March — 2 April 2011, Auckland, New Zealand. FAO Food Nutr Pap. 92. 2013. 66 p.
28. Burd N.A., McKenna C.F., Salvador A.F., Paulussen K.J.M., Moore D.R. Dietary Protein Quantity, Quality, and Exercise Are Key to Healthy Living: A Muscle-Centric Perspective Across the Lifespan // Front. Nutr. 2019. 6:83. doi: 10.3389/fnut.2019.00083

References

1. Nikitchenko DV, Nikitchenko VE, Andrianova DV, Seregin IG. Myopathies development problems in broilers raised on extensive industrial fattening. *Poultry and Poultry Processing*. 2020; (3):32—35. (In Russ). doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-3-32-35

2. Bobyleva GA, Goushchin VV. Vstupaya v novyj 2020 g. Enter a new 2020 taking stock and setting objectives for the future. *Poultry and Poultry Processing*. 2020; (4):4–6. (In Russ).
3. Fedotov VA, Nikitchenko VE, Nikitchenko DV, Egorov IA, Egorova TV. A Phytobiotic for poultry nutrition. *Ptitsevodstvo*. 2018; (8):33–37. (In Russ).
4. Bauer ND. Without antibiotics. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2018; (3):30–31. (In Russ).
5. Dzhavadov ED, Vihreva IN, Papazyan TT, Shepetkina SV, Prokofeva NI, Tarlavin NV. Antibiotics in poultry farming: alternative methods of disease prevention and treatment of poultry. *Ptitsevodstvo*. 2017; (11):41–46. (In Russ).
6. Hossain MD, Bulbul SM, Nishibori M, Islam MA. Effect of different growth promoters on growth and meat yield of broilers. *The Journal of Poultry Science*. 2008; 45(4):287–291. doi: 10.2141/jpsa.45.287
7. Willer H, Lernoud J. (eds.) *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends*. 20th ed. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM—Organics International, Bonn. 2019.
8. Yildyrym EA, Ilyina LA, Tiurina DG, Dubrovin AV, Filippova VA, Novikova NI, et al. How can we eliminate antibiotics in poultry production? *Ptitsevodstvo*. 2020; (9):41–46. (In Russ). doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-9-41-46
9. Egorov IA, Egorova TV, Krivoruchko LI, Brylin AP, Belyavskaya VA, Bolshakova DS. Probiotic in diets for broiler chicks. *Ptitsevodstvo*. 2019; (3):25–28. (In Russ). doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-3-25-28
10. Nemchinova EA. Raising poultry without feed antibiotics. In: *Materialy XIX mezhdunarodnoi konferentsii VNAP* [Proceedings of the XIX international VNAP conference. 2018. p.275–277. (In Russ).
11. Khoroshevsky AP, Khoroshevskaya LV. Moving towards the green poultry production. *Ptitsevodstvo*. 2017; (11):27–29. (In Russ).
12. Voronova EY. The use of different oils in diets for broilers (a review). *Ptitsevodstvo*. 2020; (5–6):51–56. (In Russ). doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-5-6-51-56
13. Lavrentiev AY, Sherne VS. The effect of plant-based feed additive on the broiler meat productivity and quality. *Poultry and Poultry Processing*. 2020; (1):30–33. (In Russ). doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-1-30-33
14. Egorov IA, Lenkova TN, Vertiprakhov VG, Manukyan VA, Egorova TA, Grozina AA, et al. Phytobiotic in diets for broiler parental lines at the Center for Genetics and Selection «Smena». *Ptitsevodstvo*. 2017; (12):15–19. (In Russ).
15. Svishcheva MI. Poultry meat market in russia: current state and forecast. *Poultry and Poultry Processing*. 2020; (2):4–6. (In Russ).
16. Seregin IG, Baranovich ES, Nikitchenko VE, Nikitchenko DV, Kozak YA. Changes in broiler and hog meat with PSE defect signs. *Poultry and Poultry Processing*. 2020; (4): 30–33. (In Russ). doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-4-30-33
17. Griffin JR, Moraes L, Wick M, Lilburn MS. Onset of white striping and progression into wooden breast as defined by myopathic changes underlying pectoralis P. major growth. Estimation of growth parameters as predictors for stage of myopathy progression. *Avian Pathology*. 2018; 47(1):2–13. doi: 10.1080/03079457.2017.1356908
18. Nikitchenko VE, Nikitchenko DV, Plyuschnikov 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.
19. Kijowski J, Kupinska E. The evaluation of selected quality parameters of broiler chicken muscles with Deep Pectoral Myopathy (DPM) symptoms. *Archiv fur geflugelkunde*. 2013; 77(2):102–108.
20. Astrakhancev 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
21. Castellini C, Berri C, Le Bihan-Duval E, Martino G. Qualitative attributes and consumer perception of organic and free-range poultry meat. *World's Poultry Science Journal*. 2008; 64(4):500–512. doi: 10.1017/S0043933908000172
22. Council of Europe. *European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (ETS123)*. Strasbourg: Council of Europe; 1986.
23. Egorov IA, Manukyan VA, Okolelova TM, Lenkova TN, Andrianova EN, Shevyakov AN, et al. *Rukovodstvo po kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy* [Guidelines for feeding poultry]. Sergiev Posad: VNITIP Publ.; 2018. (In Russ).
24. Shatskikh EV, Nufer AI, Galiev DM. The impact of natural alternative growth promoters on the productivity in broiler chicks. *Ptitsevodstvo*. 2020; (1):31–36. (In Russ). doi: 10.33845/0033-3239-2020-69-1-31-36

25. Lukashenko VS, Ovseichik EA, Komarov AA. The productivity and quality of chicken meat of cage and free-range growing. *Ptitsevodstvo*. 2020; (1):53–55. (In Russ). doi: 10.30975/2073-4999-2020-22-1-53-55
26. Bogosalvljevic-Boskovic S, Rakonjac S, Dosković V, Petrović MD. Broiler rearing systems: a review of major fattening results and meat quality traits. *World's Poultry Science Journal*. 2012; 68(2):217–228. doi: 10.1017/S004393391200027X
27. FAO Expert Consultation. *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation, Auckland, New Zealand, FAO Food and Nutrition Paper 92*. Rome: FAO; 2013.
28. Burd NA, McKenna CF, Salvador AF, Paulussen KJ, Moore DR. Dietary protein quantity, quality, and exercise are key to healthy living: a muscle-centric perspective across the lifespan. *Frontiers in Nutrition*. 2019; 6:83. doi: 10.3389/fnut.2019.00083

Об авторах:

Никитченко Дмитрий Владимирович — доктор биологических наук, профессор департамента ветеринарной медицины, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: dvnikitchenko@mail.ru

Никитченко Владимир Ефимович — доктор ветеринарных наук, профессор департамента ветеринарной медицины, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: v.e.nikitchenko@mail.ru

Андреанова Дарья Владимировна — аспирант, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: 1042120201@rudn.ru

Рысцова Екатерина Олеговна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2, e-mail: rystsova-eo@pfur.ru

Кондрашкина Ксения Максимовна — студент, Аграрно-технологический институт, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8/2; e-mail: 1032161257@rudn.ru

About authors:

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

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

Andrianova Darya Vladimirovna — PhD student, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1042120201@rudn.ru

Rystsova Ekaterina Olegovna — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: rystsova-eo@pfur.ru

Kondrashkina Ksenya Maksimovna — student, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 8/2, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: 1032161257@rudn.ru

Ветеринария Veterinary science

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-391-402

УДК [619:616]:636.8

Научная статья / Research article

Сочетанные патологии печени, почек и поджелудочной железы у домашних кошек

В.Н. Денисенко^{1*}, А.М. Алабед¹, Н.М. Зуева²

¹Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, г. Москва, Российская Федерация

²Ветеринарная клиника «Центр», г. Москва, Российская Федерация

*dvet@yandex.ru

Аннотация. Различные заболевания инфекционной и инвазионной природы, отдельные нарушения метаболизма при отравлениях и болезнях незаразной этиологии сопровождаются полиорганными патологиями. При этом патогенез сочетанных поражений паренхиматозных органов обусловлен их анатомической и функциональной взаимосвязью. Изучено распространение полиорганных патологий среди домашних кошек, описаны основные нозологические формы незаразных болезней печени, почек и поджелудочной железы, их клиническая картина, биохимические и ультразвуковые показатели. Установлен удельный вес полиорганных патологий, проведено сравнение их клинических показателей. Работа выполнена на 234 животных разного пола и разного возраста. Диагноз больным животным ставили на основании результатов клинических, биохимических и ультразвуковых исследований. Болезни печени были диагностированы у 18,3 %, почек — 16,3 %, поджелудочной железы — 11,5 % кошек. Полиорганные патологии установлены у 28,7 % животных, в т.ч. гепатонефрит в 16,7 %, гепатопанкреатит — в 9,0 %, гепатопанкреонефрит — в 3,0 % случаев. Из нозологических форм болезней у больных кошек чаще встречались гепатонефрит, хронический гломерулонефрит, хронический гепатит, жировая дистрофия печени и только в одном случае — цирроз печени.

Ключевые слова: кошки, болезни печени, болезни почек, болезни поджелудочной железы, полиорганные патологии, клинические исследования, биохимические исследования, ультразвуковые исследования

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

История статьи:

Поступила в редакцию: 9 октября 2020 г. Принята к публикации: 10 ноября 2020 г.

© Денисенко В.Н., Алабед А.М., Зуева Н.М., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Для цитирования: Денисенко В.Н., Алабед А.М., Зуева Н.М. Сочетанные патологии печени, почек и поджелудочной железы у домашних кошек // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 391—402. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-391-402

Combined pathologies of liver, kidneys and pancreas in domestic cats

Viktor N. Denisenko^{1*}, Altomah M. Alabed¹, Natalya M. Zueva²

¹Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

²Tsentr Veterinary Clinic, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: dvet@yandex.ru

Abstract. Various infectious and invasive diseases, as well as individual metabolic disorders caused by poisoning and non-infectious diseases lead to multiple organ pathologies. The pathogenesis of combined lesions in parenchymal organs is due to their anatomical and functional relationship. The aim of the research was to study the nosological forms of non-infectious diseases of liver, kidneys and pancreas in domestic cats, to establish the proportion of multiple organ pathologies and to compare their clinical indicators. The article presents the results of multiple organ pathologies spreading in domestic cats, describes the main nosological forms of diseases, their clinical picture, biochemical and ultrasound indicators. 234 animals of different sexes and different ages were studied in the experiment. Diseased animals were diagnosed based on the results of clinical, biochemical and ultrasound studies. Liver diseases were diagnosed in 18.3 % of cats, kidney — 16.3 %, pancreas — 11.5 % of cats. Multiple organ pathologies were established in 28.7 % of animals, including hepatonephritis in 16.7 %, hepatopancreatitis — 9.0 %, hepatopancreonephritis — 3.0 %. Among nosological forms of diseases in sick cats, hepatonephritis, chronic glomerulonephritis, chronic hepatitis, and fatty degeneration of liver were more common, and only in one case — cirrhosis.

Keywords: domestic cats, liver diseases, kidney diseases, pancreas diseases, multiple organ pathologies, clinical study, biochemical examinations, ultrasound examinations

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

Article history:

Received: 9 October 2020. Accepted: 10 November 2020

For citation:

Denisenko VN, Alabed AM, Zueva NM. Combined pathologies of liver, kidneys and pancreas in domestic cats. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):391—402. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-4-391-402

Введение

Полиорганные патологии, характеризующиеся сочетанным поражением нескольких органов и систем организма [1], сопровождаются различными заболеваниями инфекционной и инвазионной природы, а также отдельные нарушения метаболизма при отравлениях и болезнях незаразной этиологии [1—5]. В этой связи следует отметить, что патогенез сочетанных поражений паренхиматозных органов обусловлен их анатомической и функциональной взаимосвязью. Так у кошек проток поджелудочной железы и общий желчный проток соединяются между собой, обра-

зую печеночно-поджелудочную ампулу, которая открывается в 12-перстную кишку на большом дуоденальном сосочке. Эта анатомическая особенность обуславливает частое развитие у них полиорганных болезней, при которых в патологический процесс вовлекается одновременно печень, желчный проток, поджелудочная железа. Нарушение оттока желчи и секрета поджелудочной железы приводит к внутрипротоковой гипертензии и автолизу тканей поджелудочной железы [6–8].

Дистрофия, некроз и лизис гепатоцитов приводят к нарушениям детоксикационной функции печени. Необезвреженные продукты метаболизма и экзотоксины являются причиной дегенеративных и воспалительных процессов в почках — основного органа экскреции, хотя в научной литературе имеются лишь единичные сообщения о сочетанных патологиях печени и селезенки, печени и почек, печени, почек и поджелудочной железы [2, 9] у кошек, однако отсутствуют сведения об их распространенности и методах диагностики.

Цель исследования — изучить нозологические формы незаразных болезней печени, почек и поджелудочной железы у домашних кошек, установить удельный вес полиорганных патологий, сравнить их клинические показатели.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на базе кафедр диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, биологии и патологии мелких домашних, лабораторных и экзотических животных Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К. И. Скрябина, ветеринарной клиники «Центр» в Москве и ветеринарного центра АМИКУС ВЕТ в Люберцах на 234 кошках.

Клинические показатели определяли общепринятыми методами. Биохимические исследования выполнялись при помощи автоматических анализаторов в сертифицированных лабораториях. В сыворотке крови отделяли общий белок, глюкозу, общий и свободный билирубин, АлАт, АсАт, ЩФ, α -амилазу, холестерин, триглицериды, креатинин и мочевину. Структуру внутренних органов изучали при помощи ультразвукового сканирования. Для ультразвуковых исследований использовали аппараты Mindray DC-3 с микроконвексными датчиками 3.5 и 7.5 МГц, Sonoscape 6000 с датчиком, СВ II и Дженерал Электрик Vivid 35, датчик линейный, частота сканирования 10 МГц.

Цифровой материал обрабатывали при помощи компьютерной программы Statistica 10, Version 10.

Результаты исследований и их обсуждение

Клинические исследования показали, что при остром гепатите отмечаются угнетение общего состояния, анорексия, паренхиматозная желтуха, увеличение и болезненность печени при пальпации, расстройство пищеварения, рвота. У кошек, больных хроническим гепатитом, наблюдали снижение упитанности, анемичность слизистых оболочек, окрашивание мочи в темный цвет, аллопеции и перхоть на коже. Хронический холангиогепатит отмечен

длительными запорами и гипохolieй кала. Гистологически данная патология может быть охарактеризована смешанным воспалительным инфильтратом в воротных областях и желчных протоках, состоящим из нейтрофилов, лимфоцитов и плазматических клеток. Гипертрофия и фиброз желчных протоков присутствуют при хроническом холангиогепатите, но не наблюдаются при остром заболевании. Предполагается, что хроническая форма является прогрессированием острой формы [10]. Жировой гепатоз сопровождается угнетением общего состояния, желтухой, умеренной гепатомегалией, расстройством пищеварения, потерей массы тела, на финальных стадиях болезни интенсивным выделением слюны и наличием кровавистого дегтеобразного кала. Клинические признаки цирроза печени проявлялись в виде асцита, расширения вен брюшной стенки, умеренной желтухи, исхудания, кожного зуда, метеоризма кишечника, признаков полигиповитаминоза.

При остром гломерулонефрите наблюдали олигурию и анурию, гематурию, почки были увеличены в размерах, болезненны. Хронический гломерулонефрит на стадии декомпенсации характеризовался угнетением общего состояния, полиурией, обезвоживанием организма, снижением тургора кожи, стоматитом, признаками остеодистрофии, наличием язв на слизистой оболочке ротовой полости. Отличительным признаком гломерулонефрита является протеинурия. Кроме того, обычно присутствует неактивный осадок мочи, и могут наблюдаться как гиалиновые, так и зернистые цилиндры. Прогрессирование заболевания и ответ на лечение можно отслеживать путем серийного измерения соотношения белок: креатинин в моче, а развитие нефротического синдрома могут сопровождать гипоальбуминемия и гиперхолестеринемия [11]. Панкреатит клинически проявлялся вздутием и болезненностью живота, диареей и частой рвотой.

Клинические признаки были лучше выражены при остром течении болезни. Полиорганные патологии, как правило, имели хроническое течение и стертую клиническую картину, которая зависела от того, какие органы вовлечены в патологический процесс. При гепатонефрите отмечались клинические признаки печеночной и почечной недостаточности, при гепатопанкреатите — гепатита и панкреатита.

Статистические данные. Анализ табл. 1 свидетельствует о том, что, острый гепатит был диагностирован у 3,4 %, хронический гепатит — у 6,8 %, хронический холангиогепатит — у 2,5 %, цирроз печени — у 0,4 %, жировой гепатоз — 3 % поступивших на прием кошек. Острый гломерулонефрит установлен в 3,4 %, хронический — в 12,8 % случаев. Острый панкреатит — у 3,0 %, хронический — у 8,5 % животных. Сочетанные воспалительные поражения печени и почек выявлены у 17,5 %, печени и поджелудочной железы — у 9,3 % печени, почек и поджелудочной железы — у 3,0 % кошек.

Таблица 1

Результаты анализа статических данных здоровых и больных кошек

№	Диагноз	Количество голов	%
1	Здоровые животные	59	25,2
2	Острый гепатит	8	3,4
3	Хронический гепатит	16	6,8
4	Хронический холангиогепатит	6	2,6
5	Жировой гепатоз	5	2,1
6	Цирроз печени	1	0,4
7	Неоплазия печени	7	3
8	Острый гломерулонефрит	8	3,4
9	Хронический гломерулонефрит	30	12,8
10	Острый панкреатит	7	3
11	Хронический панкреатит	20	8,5
12	Гепатонефрит	39	16,7
13	Гепатопанкреатит	21	9
14	Гепатопанкреонефрит	7	3

Table 1

Results of static data analysis for healthy and diseased cats

№	Diagnosis	Number of animals	%
1	Healthy animals	59	25.2
2	Acute hepatitis	8	3.4
3	Chronic hepatitis	16	6.8
4	Chronic cholangiohepatitis	6	2.6
5	Fatty hepatosis	5	2.1
6	Hepatic cirrhosis	1	0.4
7	Liver neoplasia	7	3
8	Acute glomerulonephritis	8	3.4
9	Chronic glomerulonephritis	30	12.8
10	Acute pancreatitis	7	3
11	Chronic pancreatitis	20	8.5
12	Hepatonephritis	39	16.7
13	Hepatopancreatitis	21	9
14	Hepatopancreonephritis	7	3

Биохимические показатели. Результаты биохимических исследований сыворотки крови опытных животных приведены в табл. 2. Динамика биохимических показателей сыворотки крови кошек, больных острым и хроническим гепатитом, хроническим холангиогепатитом, характеризовалась достоверным повышением концентрации общего белка, общего и свободного билирубина и активности АлАт, АсАт, ЩФ и α -амилазы. При этом существенное повышение содержания свободного билирубина указывает на снижение конъюгирующей функции гепатоцитов, повышение активности ЩФ — на наличие холестаза. Повышение активности внутриклеточных ферментов связано с паталогическим лизисом гепатоцитов [6, 9, 12].

Таблица 2

Биохимические показатели сыворотки крови здоровых и больных кошек

Диагноз	Общий белок, г / л	Глюкоза, ммоль / л	Билирубин общий, мкмоль / л	АЛАТ, МЕ/л	АСАТ, МЕ/л	ЩФ, МЕ/л	α – Амилаза, МЕ / л	Холестерин, ммоль/л	Триглицериды, ммоль/л	Креатинин, мкмоль / л	Мочевина, ммоль / л
Здоровые животные	69,2±1,8	4,7±0,1	8,4±0,8	46,6±1,6	34,0±1,3	72,2±7,3	812,4±23,0	4,9±0,2	0,7±0,01	143,7±3,4	6,7±0,2
Острый гепатит	80,0±1,4*	4,9±0,1	10,6±0,9*	201,1±13,5*	80,2±3,6*	95,1±9,4*	1608,3±43,0*	3,9±0,2	0,4±0,3	112,6±10,9	5,3±0,6
Хронический гепатит	75,5±2,8*	5,8±0,3*	11,9±0,9*	82,5±6,9*	90,6±6,1*	93,2±8,6*	1632,8±134,5*	4,5±0,3	–	127,3±8,9	4,2±0,3
Хронический холангиогепатит	73,7±4,2*	5,5±0,1*	82,6±13,9*	502,5±56,4*	182,8±40,1*	198,0±2,3*	2235±215,1*	2,9±0,5	0,5±0,1	127,4±12,8	14,3±3,4*
Жировой гепатоз	80,6±2,2*	11,8±1,1*	13,6±0,8*	161,0±8,4*	88,0±4,1*	167,4±14,1*	2225,5±156,4*	9,4±0,6*	6,1±0,02*	88,7±2,5	18,8±1,5*
Цирроз печени	63,6±2,2*	6,1±1,02	5,4±0,2	114,0±7,2*	37,0±2,2	134,0±3,2*	–	4,8±0,1	–	8,5±1,2*	4,9±1,3
Неоплазия печени	60,0±5,0	6,20±0,5*	65,8±9,6*	278,0±37,9*	125,9±21,3*	437,1±82,0*	910,0±25,0*	–	–	136,9±9,2	–
Острый гломерулонефрит	79,3±3,3*	5,7±0,4*	10,9±1,4*	65,2±11,1	54,9±8,9*	54,4±22,5	1175,3±97,9*	–	–	798,0±97,1*	42,4±4,8*
Хронический гломерулонефрит	85,4±4,4*	5,3±0,2*	7,8±1,0	68,9±3,6*	44,0±3,6	102,7±17,8*	1650,1±171,4*	6,4±0,4*	0,3±0,1	263,1±30,0*	16,6±0,8*
Острый панкреатит	75,0±4,7*	15,0±4,7*	11,0±1,5*	61,4± 5,8*	44,5±2,7	63,6±4,4	2397,1±275,7*	3,9±0,5	1,6±0,4*	152,6±11,3	8,0± 1,1
Хронический панкреатит	70,5±2,8	7,2±0,3*	8,2±1,5	78,5± 9,7*	44,6±7,5	82,6±22,6*	1576,7±118,4*	5,9±0,5*	1,4±0,4*	145,8±11,8	8,5 ±0,4
Гепатонефрит	71,1±2,1	5,1±0,1	58,8±9,9*	177,1±13,9*	94,1±9,6*	172,0±17,5*	1560,4±118,1*	6,0±0,4*	0,6±0,0	652,2±36,2*	25,3±3,3*
Гепатопанкреатит	80,5±4,4*	8,4±0,6*	19,6±3,6*	178,5±17,9*	110,2±16,2*	157,7±17,6*	2765,8±285,6*	5,0±0,7	1,0±0,5*	129,5±8,6	7,9±0,4*
Гепатопанкреонефрит	90,4±3,5*	10,6±1,6*	69,9±3,9*	123,5±3,4*	94,1±2,1*	78,3±8,9*	3508,4±250,0*	5,4±0,5	6,6±0,3*	450,5±50,1*	25,5±14,2*

*Статистически достоверные изменения показателей в сравнении со здоровыми животными.

Table 2

Biochemical parameters of blood serum in healthy and diseased cats

Diagnosis	Total protein, g/L	Glucose, mmol/L	Total bilirubin, $\mu\text{mol/L}$	ALAT, IU/L	ASAT, IU/L	ALP, IU/L	α -amylase, IU/L	Cholesterol, mmol/L	Triglycerides, mmol/L	Creatinine, $\mu\text{mol/L}$	Urea, mmol/L
Healthy animals	69.2 \pm 1.8	4.7 \pm 0.1	8.4 \pm 0.8	46.6 \pm 1.6	34.0 \pm 1.3	72.2 \pm 7.3	812.4 \pm 23.0	4.9 \pm 0.2	0.7 \pm 0.01	143.7 \pm 3.4	6.7 \pm 0.2
Acute hepatitis	80.0 \pm 1.4*	4.9 \pm 0.1	10.6 \pm 0.9*	201.1 \pm 13.5*	80.2 \pm 3.6*	95.1 \pm 9.4*	1608.3 \pm 43.0*	3.9 \pm 0.2	0.4 \pm 0.3	112.6 \pm 10.9	5.3 \pm 0.6
Chronic hepatitis	75.5 \pm 2.8*	5.8 \pm 0.3*	11.9 \pm 0.9*	82.5 \pm 6.9*	90.6 \pm 6.1*	93.2 \pm 8.6*	1632.8 \pm 134.5*	4.5 \pm 0.3	–	127.3 \pm 8.9	4.2 \pm 0.3
Chronic cholangiohepatitis	73.7 \pm 4.2*	5.5 \pm 0.1*	82.6 \pm 13.9*	502.5 \pm 56.4*	182.8 \pm 40.1*	198.0 \pm 2.3*	2235 \pm 215.1*	2.9 \pm 0.5	0.5 \pm 0.1	127.4 \pm 12.8	14.3 \pm 3.4*
Fatty hepatosis	80.6 \pm 2.2*	11.8 \pm 1.1*	13.6 \pm 0.8*	161.0 \pm 8.4*	88.0 \pm 4.1*	167.4 \pm 14.1*	2225.5 \pm 156.4*	9.4 \pm 0.6*	6.1 \pm 0.02*	88.7 \pm 2.5	18.8 \pm 1.5*
Hepatic cirrhosis	63.6 \pm 2.2*	6.1 \pm 1.02	5.4 \pm 0.2	114.0 \pm 7.2*	37.0 \pm 2.2	134.0 \pm 3.2*	–	4.8 \pm 0.1	–	8.5 \pm 1.2*	4.9 \pm 1.3
Liver neoplasia	60.0 \pm 5.0	6.20 \pm 0.5*	65.8 \pm 9.6*	278.0 \pm 37.9*	125.9 \pm 21.3*	437.1 \pm 82.0*	910.0 \pm 25.0*	–	–	136.9 \pm 9.2	–
Acute glomerulonephritis	79.3 \pm 3.3*	5.7 \pm 0.4*	10.9 \pm 1.4*	65.2 \pm 11.1	54.9 \pm 8.9*	54.4 \pm 22.5	1175.3 \pm 97.9*	–	–	798.0 \pm 97.1*	42.4 \pm 4.8*
Chronic glomerulonephritis	85.4 \pm 4.4*	5.3 \pm 0.2*	7.8 \pm 1.0	68.9 \pm 3.6*	44.0 \pm 3.6	102.7 \pm 17.8*	1650.1 \pm 171.4*	6.4 \pm 0.4*	0.3 \pm 0.1	263.1 \pm 30.0*	16.6 \pm 0.8*
Acute pancreatitis	75.0 \pm 4.7*	15.0 \pm 4.7*	11.0 \pm 1.5*	61.4 \pm 5.8*	44.5 \pm 2.7	63.6 \pm 4.4	2397.1 \pm 275.7*	3.9 \pm 0.5	1.6 \pm 0.4*	152.6 \pm 11.3	8.0 \pm 1.1
Chronic pancreatitis	70.5 \pm 2.8	7.2 \pm 0.3*	8.2 \pm 1.5	78.5 \pm 9.7*	44.6 \pm 7.5	82.6 \pm 22.6*	1576.7 \pm 118.4*	5.9 \pm 0.5*	1.4 \pm 0.4*	145.8 \pm 11.8	8.5 \pm 0.4
Hepatonephritis	71.1 \pm 2.1	5.1 \pm 0.1	58.8 \pm 9.9*	177.1 \pm 13.9*	94.1 \pm 9.6*	172.0 \pm 17.5*	1560.4 \pm 118.1*	6.0 \pm 0.4*	0.6 \pm 0.0	652.2 \pm 36.2*	25.3 \pm 3.3*
Hepatopancreatitis	80.5 \pm 4.4*	8.4 \pm 0.6*	19.6 \pm 3.6*	178.5 \pm 17.9*	110.2 \pm 16.2*	157.7 \pm 17.6*	2765.8 \pm 285.6*	5.0 \pm 0.7	1.0 \pm 0.5*	129.5 \pm 8.6	7.9 \pm 0.4*
Hepatopancreonephritis	90.4 \pm 3.5*	10.6 \pm 1.6*	69.9 \pm 3.9*	123.5 \pm 3.4*	94.1 \pm 2.1*	78.3 \pm 8.9*	3508.4 \pm 250.0*	5.4 \pm 0.5	6.6 \pm 0.3*	450.5 \pm 50.1*	25.5 \pm 14.2*

*Statistically significant changes in comparison with healthy animals.

При жировом гепатозе, наряду с указанными изменениями биохимических показателей, отмечено существенное повышение концентрации глюкозы — $11,8 \pm 1,1$ ммоль/л, в то время как у здоровых животных количество глюкозы составило $4,7 \pm 0,1$ ммоль/л, а также увеличение количества триглицеридов в 8,7 раз и холестерина в 1,9 раз. Наивысшая концентрация общего билирубина ($165,8 \pm 9,6$ мкмоль/л) установлена при неоплазии печени, глюкозы ($15,0 \pm 4,7$ ммоль/л) — при остром панкреатите. Анатомическая особенность кошек, а именно слияние общего желчного протока и протока поджелудочной железы, объясняет статистически достоверное повышение активности α -амилазы в крови при панкреатите и болезнях печени, особенно холангиогепатите (в 2,8 раз) и жировом гепатозе (в 2,7 раз).

В сыворотке крови кошек, больных гломерулонефритом, установлено повышение концентрации креатинина и мочевины, которое было более выражено при остром течении болезни. Так, значение мочевины составило $42,4 \pm 4,8$ ммоль/л при остром гломерулонефрите и $16,6 \pm 0,8$ ммоль/л — при хроническом. В свою очередь, концентрация креатинина при остром течении составила $16,6 \pm 0,8$ мкмоль/л, а при хроническом — $263,1 \pm 30,0$ мкмоль/л. Накопление продуктов метаболизма белка в крови при гломерулонефрите свидетельствует о почечной недостаточности, вызванной воспалением капилляров почечных клубочков.

Полиорганные патологии, такие как гепатонефрит, гепатопанкреатит и гепатопанкреонефрит, демонстрируют выраженные изменения биохимических показателей, характерные для воспалений вовлеченных в патологический процесс органов. Максимальная активность α -амилазы установлена при остром панкреатите, гепатопанкреатите и гепатопанкреонефрите.

Ультразвуковая картина. Ультразвуковое отображение печени, почек и поджелудочной железы при разных нозологических формах патологии проведено на рис. 1—6. Анализ рис. 1 свидетельствует о том, что эхогенность паренхимы печени при остром гепатите неоднородна. Неоднородность эхоструктуры паренхимы печени связана с чередованием в ней зон клеточной инфильтрации и некроза, которые повышают эхогенность, и воспалительного отека, имеющего пониженную эхогенность.

При хроническом холангиогепатите (рис. 2) на эхограмме отмечается наличие обширных очагов с повышенной эхогенностью, расширение желчевыводящих протоков и повышение их эхогенности. Крупноочаговое повышение эхогенности паренхимы обусловлено перилобулярным фиброзом [10]. Расширение желчных протоков является следствием холестаза [13].

На рис. 3 видно равномерное повышение эхогенности паренхимы печени, ослабление периферического сосудистого рисунка, округление контуров органа. Равномерное повышение эхогенности паренхимы печени при жировом гепатозе вызывается отражением ультрафиолетовых лучей липидными вакуолями [14]. Ослабление периферического сосудистого рисунка связано с высокой степенью поглощения ультразвуковых волн жиром. Закругленность краев печени связана с увеличением ее размеров.

Цирроз печени (рис. 4) характеризуется объективным повышением эхогенности паренхимы, крупнозернистой эхоструктурой, наличием анэхогенной зоны разделяющих долей. По нашему мнению, повышение эхогенности связано с разрастанием и склеротизацией междольковой соединительной ткани, при этом анэхогенная зона образуется вследствие скапливания трансудата в брюшной полости [3, 15].

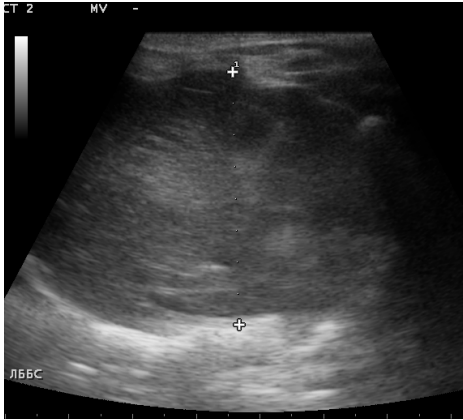


Рис. 1. Эхограмма печени кошки при остром гепатите

Fig. 1. Acute hepatitis in cat

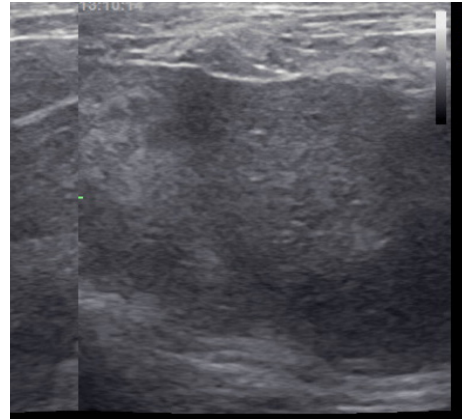


Рис. 2. Эхограмма печени кошки при хроническом холангиогепатите

Fig. 2. Chronic cholangiohepatitis in cat



Рис. 3. Эхограмма печени кошки при жировом гепатозе

Fig. 3. Fatty hepatosis in cat

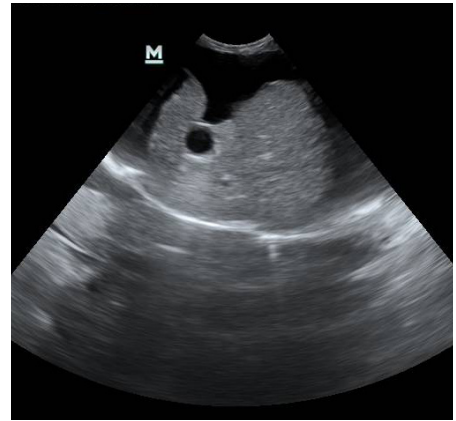


Рис. 4. Эхограмма печени кошки при циррозе

Fig. 4. Cirrhosis in cat

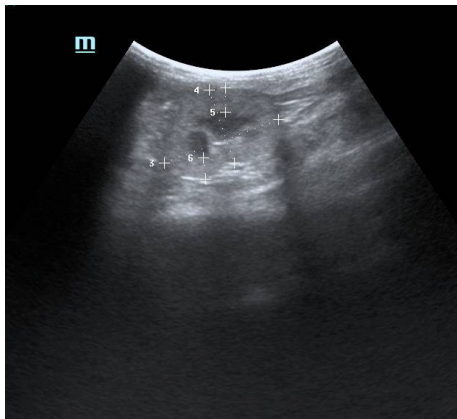


Рис. 5. Эхограмма почки при хроническом гломерулонефрите

Fig. 5. Chronic glomerulonephritis in cat

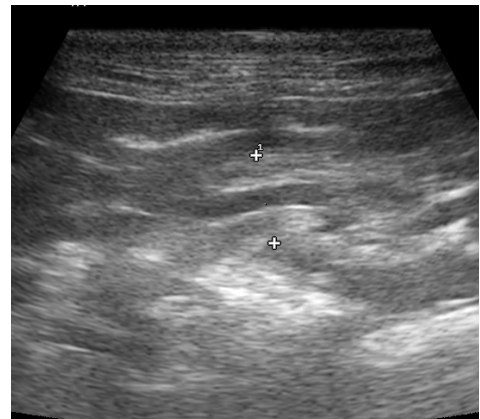


Рис. 6. Эхограмма поджелудочной железы кошки при хроническом панкреатите

Fig. 6. Chronic pancreatitis in cat

Анализ эхограммы, приведенной на рис. 5, свидетельствует о том, что манифестация хронического гломерулонефрита характеризуется повышением эхогенности и неоднородностью коркового слоя почки. Повышение эхогенности связано с разрастанием межклубочковой соединительной ткани и ее склеротизацией. При хроническом панкреатите (см. рис. 6) на эхограмме отмечают обширные участки паренхимы с повышенной эхогенностью, расширение панкреатического протока и повышение эхогенности его стенок. Повышение эхогенности паренхимы и стенок панкреатического протока связано с разрастанием соединительной ткани. Расширение панкреатического протока свидетельствует о нарушении оттока сока поджелудочной железы [16, 17]. Ультразвуковое отображение печени, почек и поджелудочной железы при полиорганных патологиях соответствовало отображению, полученному при хроническом течении холангиогепатита, гломерулонефрита и панкреатита (см. рис. 2, 5 и 6). Полученные данные свидетельствуют о хроническом течении полиорганных патологических процессов.

Заключение

Значительный удельный вес среди болезней кошек (28,7 %) имеют полиорганные патологии, характеризующиеся сочетанным поражением печени, почек и поджелудочной железы. Патология, как правило, имеет хроническое течение. Болезни печени были диагностированы у 18,3 %, почек — у 16,3 %, поджелудочной железы — у 11,5 % кошек. Полиорганные патологии установлены у 28,7 % животных, в т. ч. гепатонефрит — у 16,7 %, гепатопанкреатит — в 9,0 %, гепатопанкреонефрит — в 3,0 % случаев. Из нозологических форм болезней у больных кошек чаще встречались гепатонефрит, хронический гломерулонефрит, хронический гепатит, жировая дистрофия печени и только в одном случае цирроз печени.

Библиографический список

1. Кондрахин И.П., Левченко В.И. Диагностика и терапия внутренних болезней животных. М.: Аквариум, 2007. 830 с.
2. Денисенко В.Н., Кесарева Е.А., Исхакова И.А. Сочетанные поражения поджелудочной железы, печени и почек у кошек // Ветеринарная клиника. 2012. № 1—2. С. 16—20.
3. Жаров А.В. Патологическая анатомия животных. Спб.: Лань, 2013. 608 с.
4. Vatnikov Yu.A., Kulikov E.V., Kubatbekov T.S., Kuznetsov V.I., Sturov N.V., Shirmanov V.I., Parshina V.I., Krotova E.A. Diagnosis of violations of microcirculation in the late recovery period after thrombosis of cerebral vessels // Prensa Medica Argentina. 2019. T. 105. № 1. С. 1000335.
5. Vatnikov Y.A., Mikolenko O.N., Kulikov E.V., Sotnikova E.D., Kochneva M.V., Parshina V.I., Troshina N.I., Pavlova M.E., Lozovoy D.A. Structural changes of the urinary organs in case of triple phosphate urolithiasis in cats // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. Vol. 10. № 9. P. 2332—2335.
6. Penninck D., d'Anjou M.A. Atlas of small animal ultrasonography. Wiley Blackwell, 2015. 576 p.
7. Warman S., Harvey A. Feline pancreatitis: current concepts and treatment guidelines // In practice. 2007. Vol. 29. № 8. P. 470—477.
8. Binhong H.U., Kulikov E.V., Vatnikov Y.A., Kuznetsov V.I., Sturov N.V., Shirmanov V.I., Drukovsky S.G., Petrov A.K., Abdulaziz N. Pathological changes in microcirculation in the early recovery period of ischemic stroke // La Prensa Medica Argentina. 2019. Vol. 105. № 2. P. 1—4. doi: 10.41720032-745X.1000332
9. Денисенко В.Н., Кесарева Е.А., Середя С.В., Зуева Н.М., Бардюкова Т.В., Шабанов А.М. Диагностика и лечение болезней печени у собак и кошек. М.: Колосс, 2011. 96 с.
10. Edwards M. Feline Cholangiohepatitis // COMPENDIUM. 2004. № 2. P. 855—862.

11. Webb C.B. Feline glomerular diseases // *Feline Internal Medicine Secrets*. 2001: P. 210—213. doi: 10.1016/B978-1-56053-461-7.50047-4
12. Chernigova S.V., Chernigov Y.V., Vatnikov Y.A., Kulikov E.V., Popova I.A., Shirmanov V.I., Molchanova M.A., Likhacheva I.F., Voronina Y.Y., Lukina D.M. Special aspects of systemic inflammation course in animals // *Veterinary World*. 2019. Vol. 12(7). P. 932—937.
13. Feeney D.A., Anderson K.L., Ziegler L.E., Jessen C.R., Daubs B.M., Hardy R.M. Statistical relevance of ultrasonographic criteria in the assessment of diffuse liver disease in dogs and cats // *American Journal of Veterinary Research*. 2008. Vol. 69(2). P. 212—221. doi: 10.2460/ajvr.69.2.212
14. Maruyama H., Kato N. Advances in ultrasound diagnosis in chronic liver diseases // *Clin Mol Hepatol*. 2019. Vol. 25(2). P. 160—167.
15. Иванов В.В. Клиническое ультразвуковое исследование органов брюшной и грудной полости у собак и кошек. М.: Аквариум-принт, 2005. 175 с.
16. Охлобыстин А.В. Антисекреторные препараты в лечении больных панкреатитом // *Клинические перспективы гастроэнтерологии, гепатологии*. 2014. № 3. С. 13—20.
17. Селезнев С.Б., Есина Д.И. Куликов Е.В. Клиническая морфология поджелудочной железы собак при ультразвуковой диагностике // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2014. № 2. С. 39—50. doi: 10.22363/2312-797X-2014-2-39-50

References

1. Kondrakhin IP, Levchenko VI. *Diagnostika i terapiya vnutrennikh boleznei zhivotnykh* [Diagnostics and therapy of internal diseases in animals]. Moscow: Akvarium publ.; 2007. (In Russ).
2. Denisenko VN, Kesareva EA, Iskhakova OA. Concomitant lesions of the pancreas, liver and kidneys in cats. *Veterinarnaya klinika*. 2012; (1—2):16—20. (In Russ).
3. Zharov A.V. *Patologicheskaya anatomiya zhivotnykh* [Pathological anatomy of animals]. Saint-Petersburg: Lan' publ.; 2013. (In Russ).
4. Vatnikov YA, Kulikov EV, Kubatbekov TS, Kuznetsov VI, Sturov NV, Shirmanov VI, et al. Diagnosis of violations of microcirculation in the late recovery period after thrombosis of cerebral vessels. *Prensa Medica Argentina*. 2019; 105(1):1000335.
5. Vatnikov YA, Mikolenko ON, Kulikov EV, Sotnikova ED, Kochneva MV, Parshina VI, et al. Structural changes in the urinary tract in triple phosphate urolithiasis in cats. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2018; 10(9):2332—2335.
6. Penninck D, d'Anjou MA. (Eds.). *Atlas of small animal ultrasonography*. 2nd ed. John Wiley & Sons; 2015.
7. Warman S, Harvey A. Feline pancreatitis: current concepts and treatment guidelines. *In Practice*. 2007; 29(8):470—477.
8. Binhong HU, Kulikov EV, Vatnikov YA, Kuznetsov VI, Sturov NV, Shirmanov VI, et al. Pathological changes in microcirculation in the early recovery period of ischemic stroke. *Prensa Medica Argentina*. 2019; 105:1. doi: 10.41720032—745X.1000332
9. Denisenko VN, Kesareva EA, Sereda SV, Zueva NM, Bardyukova TV, Shabanov AM, et al. *Diagnostika i lechenie boleznei pecheni u sobak i koshek* [Diagnosis and treatment of diseases in dogs and cats]. Moscow: KolosS publ.; 2011. (In Russ).
10. Edwards M. Feline cholangiohepatitis. *Compendium*. 2004; 26(11):855—861.
11. Webb CB. Feline glomerular diseases. *Feline Internal Medicine Secrets*. 2001; 210—213. doi: 10.1016/B978-1-56053-461-7.50047-4
12. Chernigova SV, Chernigov YV, Vatnikov YA, Kulikov EV, Popova IA, Shirmanov VI, et al. Special aspects of systemic inflammation course in animals. *Veterinary World*. 2019; 12(7):932—937. doi: 10.14202/vetworld.2019.932-937
13. Feeney DA, Anderson KL, Ziegler LE, Jessen CR, Daubs BM, Hardy RM. Statistical relevance of ultrasonographic criteria in the assessment of diffuse liver disease in dogs and cats. *American Journal of Veterinary Research*. 2008; 69(2):212—221. doi: 10.2460/ajvr.69.2.212
14. Maruyama H, Kato N. Advances in ultrasound diagnosis in chronic liver diseases. *Clin Mol Hepatol*. 2019; 25(2):160—167. doi: 10.3350/cmh.2018.1013
15. Ivanov VV. *Klinicheskoe ul'trazvukovoe issledovanie organov bryushnoi i grudnoi polosti u sobak i koshek* [Clinical ultrasound examination of the abdominal and thoracic organs in dogs and cats]. Moscow: Akvarium-print publ.; 2005. (In Russ).

16. Okhlobystin AV. Antisecretory drugs for treatment of chronic pancreatitis. *Clinical prospects of gastroenterology, hepatology*. 2014; (3):13–20. (In Russ).

17. Seleznev SB, Esina DI, Kulikov EV. The clinical morphology of a pancreas of dogs by ultrasonic diagnostics. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2014; (2):39–50. (In Russ). doi: 10.22363/2312-797X-2014-2-39-50

Об авторах:

Денисенко Виктор Николаевич — доктор ветеринарных наук, профессор кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА имени К.И. Скрябина, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: dvet@yandex.ru

Алабед Алтомах Мохамад — аспирант кафедры диагностики болезней, терапии, акушерства и репродукции животных, Российская Федерация, 109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23; e-mail: tomamohammad88@gmail.com

Зуева Наталья Михайловна — кандидат биологических наук, ветеринарный врач, ветеринарная клиника «Центр», Российская Федерация, г. Москва, Цветной бульвар, д. 11, стр. 1; e-mail: zueva@vetcentr.ru

About authors:

Denisenko Viktor Nikolaevich — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology; 23, Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: dvet@yandex.ru

Alabed Altomakh Mohamad — PhD student, Department of Disease Diagnostics, Therapy, Obstetrics and Animal Reproduction, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, 23, Akademika Skryabina st., Moscow, 109472, Russian Federation; e-mail: tomamohammad88@gmail.com

Zueva Natalya Mikhailovna — Candidate of Biological Sciences, Veterinarian, Tsentr veterinary clinic, 11/1, Tsvetnoy Boulevard, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail: zueva@vetcentr.ru

DOI 10.22363/2312-797X-2020-15-4-403-416
УДК 636.2:612.621

Обзорная статья / Review article

Кетоз и его роль в нарушении репродуктивной функции *Bos Taurus*

Г.В. Ширяев*, Т.И. Станиславович, В.П. Политов

Всероссийский научно-исследовательский институт
генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ
«Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»,
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Российская Федерация
*gs-2027@yandex.ru

Аннотация. Представлен анализ актуальных и значимых научных исследований о физиологических и биохимических аспектах кетоза, а также основных механизмах воздействия на репродуктивную функцию при данной метаболической патологии. Усиление селекционного потенциала и создание условий для его реализации с помощью современных технологий кормления и содержания обусловило распространение заболеваний незаразной этиологии, среди которых особое место занимают кетозные заболевания. Кетозные заболевания приводят к различным нарушениям в углеводно-липидном, белковом, водно-электролитном и витаминно-минеральном обменах. Проведенный мониторинг исследований биологической роли кетоза показал его влияние на фертильность животных, качество женских гамет и развитие плода. При рассмотрении кетозов важно понимать именно механизмы влияния, так как многие методы диагностики и борьбы с кетозными заболеваниями строятся на их знании. Рассмотрены ключевые вопросы механизмов образования кетонных тел, причины повышения их концентрации, что имеет важное практическое значение для разработки диагностических тестов, которые дают возможность определить направленность нарушений в энергетических и пластических процессах. На основании представленных в рассматриваемых исследованиях данных сделаны выводы о роли β -оксимасляной кислоты как прямого фактора в снижении репродуктивной функции *Bos Taurus*.

Ключевые слова: кетоз, β -оксимасляная кислота, фолликул, качество ооцитов, фертильность, *Bos Taurus*

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

Финансирование. Благодарности. Работа проведена в рамках выполнения научных исследований Министерства науки и высшего образования РФ по темам № АААА-А18-118021990006-9 и ААА-А-А18-118021590132-9.

История статьи:

Поступила в редакцию: 31 августа 2020 г. Принята к публикации: 29 сентября 2020 г.

© Ширяев Г.В., Станиславович Т.И., Политов В.П., 2020



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

Для цитирования:

Ширяев Г.В., Станиславович Т.И., Политов В.П. Кетоз и его роль в нарушении репродуктивной функции *Bos Taurus* // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 4. С. 403—416. doi: 10.22363/2312–797X-2020–15–4–403–416

Ketosis and its role in *Bos taurus* reproductive impairment

Gennady V. Shiryaev, Tatyana I. Stanislavovich, Vladimir P. Politov

Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, St. Petersburg, Pushkin, Russian Federation

Abstract. The analysis of relevant and significant scientific research on the physiological and biochemical aspects of ketosis, and the main mechanisms of influence on reproductive function in this metabolic pathology is presented. Strengthening breeding potential and creating conditions for its implementation through modern feeding and maintenance technologies led to the spread of diseases of non-communicable etiology, including ketosis diseases. Ketotic diseases cause various disorders in carbohydrate-lipid, protein, water-electrolyte and vitamin-mineral metabolism. The monitoring of studies on the biological role of ketosis showed its effect on animal fertility, quality of female gametes and fetal development. When considering ketosis, it is important to understand precisely the mechanisms of influence, since many methods for diagnosing and combating ketosis diseases are based on their knowledge. The key mechanisms of ketone bodies formation, the reasons for increase in their concentration were considered. It is of great practical importance for development of diagnostic tests that make it possible to determine the direction of disturbances in energy and plastic processes. Based on the data presented in the studies, conclusions were drawn about the role of β -hydroxybutyric acid as a direct factor in reducing the reproductive function of *Bos taurus*.

Keywords: ketosis, β -hydroxybutyrate acid, follicle, oocytes quality, fertility, *Bos taurus*

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

Acknowledgments. The review was supported by funding from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grants No. AAAA-A18-118021990006-9 and AAAA-A18-118021590132-9.

Article history:

Received: 31 August 2020. Accepted: 29 September 2020

For citation:

Shiryaev GV, Stanislavovich TI, Politov VP. Ketosis and its role in *Bos taurus* reproductive impairment. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(4):403—416. (In Russ.) doi: 10.22363/2312–797X-2020–15–4–403–416

Введение

Влияние кетозных заболеваний на репродуктивную функцию животных привлекает пристальное внимание исследователей всех стран, в которых развито молочное животноводство [1, 2]. Усиление селекционного потенциала и создание условий для его реализации с помощью современных технологий кормления и содержания обусловило распространение кетозных заболеваний, имеющих клиническую (КК) и субклиническую форму (СКК) [3].

Изучение кетоза сопряжено с рядом методологических трудностей, так как возникновение и развитие данного нарушения обмена веществ физиологически

и биохимически связано с рядом сопутствующих неблагоприятных факторов: отрицательный энергетический баланс (ОЭБ); изменение уровня активных форм кислорода (АФК); различные патологии, связанные с несбалансированным и недоброкачественным кормлением; стрессы и др. Это означает, что в большом количестве научных работ кетоз рассматривается как индикатор неблагополучного состояния животного, без полноценного рассмотрения причин повышения кетоновых тел (КТ).

Репродуктивная функция зависит от сложноорганизованных последовательных физиологических событий, протекающих в организме животного. Снижение репродуктивной функции влечет за собой значительное уменьшение периода продуктивного использования молочных коров, тем самым сокращая имеющееся поголовье [4—6]. К примеру, при изучении влияния СКК на репродуктивные показатели *Bos Taurus* в большинстве случаев фиксируется снижение возможности плодотворного зачатия при первом осеменении, повышение количества осеменений (индекса осеменения) [7, 8]. Получаемые данные интересны, но методологически большинство исследования проводились таким образом, что отделить непосредственное влияние повышенных КТ на репродуктивную функцию не всегда возможно. При рассмотрении кетозов важно понимать именно механизмы влияния, так как многие методы диагностики и борьбы с кетозными заболеваниями строятся на их знании.

В настоящем обзоре мы рассмотрели накопленный в литературе материал по кетозным заболеваниям, физиологическим и биохимическим аспектам их проявления, а также основным механизмам их негативного влияния на репродуктивную функцию.

Физиологические и биохимические аспекты кетоза

Кетоз — физиологическое состояние животного организма, при котором фиксируется увеличение концентрации КТ (или *кетонов*) в крови, моче и молоке выше нормы. КТ, в число которых традиционно включают ацетон, β -оксималяную и ацетоуксусную кислоты, образуются главным образом в печени. В научной литературе имеется большое количество исследований, посвященных определению концентрации КТ в крови в диапазоне нормы. В настоящее время главным ориентиром при диагностике состояния кетоза (ввиду биохимической стабильности) является измерение β -оксималяной кислоты (БОМК) в сыворотке, плазме или цельной крови [3, 6]. При концентрации БОМК $\geq 1,2$ и $< 3,0$ ммоль/л (у некоторых авторов от $\geq 1,0$ до $\leq 1,4$ ммоль/л) при отсутствии клинических признаков фиксируется СКК. При этом при уровне БОМК $\geq 3,0$ ммоль/л, даже при отсутствии клинических признаков диагностируется КК [3, 9, 10].

КТ являются неотъемлемой составляющей метаболизма жвачных животных и всегда присутствуют в крови в небольших количествах, так как играют важную роль в энергетических и пластических процессах. Важно подчеркнуть, что КТ выступают в условиях нехватки глюкозы важным источником энергии для поддержания функционирования центральной нервной системы, которая не может для этого использовать жирные кислоты [11]. В биохимическом отношении КТ

животному организму использовать легче, так как для включения в цитратный цикл для КТ необходимо пройти три этапа, а не девять, как в случае с глюкозой [12, 13].

Механизм образования кетонов достаточно подробно изучен. Поступающие питательные вещества расщепляются в организме, проходя через промежуточные стадии, до активной формы ацетата — ацетил-КоА, большая часть которого используется в цикле Кребса с образованием молекул АТФ. Ацетил-КоА является отправной точкой синтеза кетонов — в митохондриях при конденсации двух молекул ацетил-КоА происходит образование ацетоацетил-КоА с последующим образованием β -окси- β -метилглутарил-КоА. В дальнейшем β -окси- β -метилглутарил-КоА под действием лиазы расщепляется на ацетоуксусную кислоту и ацетил-КоА. Ацетоуксусная кислота проходит этап восстановления до β -оксимасляной кислоты (БОМК), либо декарбоксилируется до ацетона [14, 15].

Кетоны могут синтезироваться и в результате белкового обмена, когда в организме усиленно распадаются белки, образование кетонов в печени происходит из кетогенных аминокислот: тирозина, лейцина, изолейцина, фенилаланина и триптофана.

Обобщая причины повышения концентрации КТ в крови выше нормы, можно утверждать, что патологической основой является острая нехватка энергии в различные периоды роста и развития. У молочных животных подобный отрицательный энергетический баланс (ОЭБ), резко усиливающий синтез КТ, чаще всего фиксируется во вторую половину транзитного периода (21 день после отела). Однако предпосылки ОЭБ закладываются в претельный период, в течение которого происходит увеличение плода и усиливается интенсивность процессов, связанных с обеспечением его питания, что на фоне снижения потребления корма, приводит к недостатку глюкозы [3, 16].

Дефицит глюкозы в период ОЭБ определяет нарушение процесса включения ацетил-КоА в цикл Кребса, так как предварительно ацетил-КоА должен конденсироваться оксалоацетатом (щавелевоуксусной кислотой), который вместо этого начинает использоваться для глюконеогенеза. В результате оксалоацетат вводит в цикл Кребса недостаточное количество ацетил-КоА, что лимитирует синтез АТФ. В свою очередь неполное окисление ацетил-КоА приводит к превращению их в КТ.

ОЭБ усиливает мобилизацию липидов для поддержания энергетического гомеостаза, в результате происходит увеличение концентрации в крови неэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК), с последующим β -окислением в митохондриях. Образующийся в результате β -окисления жирных кислот ацетил-КоА при нехватке оксалоацетата расходуется на синтез КТ.

Высокие концентрации НЭЖК, нарушая сигнальный путь инсулина, снижают чувствительность к нему, что через усиление липолиза приводит к еще большей концентрации жирных кислот в крови. Глюкоза при формировании инсулинорезистентности не поступает в клетки мышечной и жировой ткани, с сохранением возможности проникать в клетки молочной железы (инсулиннезависимой ткани). Однако в дальнейшем, вследствие инсулинорезистентности, интенсивность гликолиза снижается во всех тканях. Негативные эффекты от данных процессов усиливаются в результате стимуляции синтеза гормонов, обладающих антагонистическими

по отношению к инсулину свойствами (катехоламинов, соматотропина, глюкагона, кортизола, гормонов щитовидной железы) [17].

Довольно распространено мнение, что повышенный синтез КТ запускается именно после активного липолиза жировой ткани и накопления в крови НЭЖК. В случае с молочными животными данное утверждение нуждается в проверке, так как встречаются публикации, показывающие, что уровень КТ в крови может повышаться до кетотических значений и без накопления НЭЖК. В частности, Маккарти и др. в [18] проанализировали взаимосвязь биосинтеза НЭЖК и БОМК. Согласно исследованиям, концентрация НЭЖК устойчиво повышалась с момента отела в течение 9 дней, после чего происходило снижение их концентраций. Концентрация БОМК начинала увеличиваться за несколько дней до родов, продолжая расти в течение первой недели после родов и оставаясь повышенными до 21 дня. Это может означать, что процесс синтеза кетонных тел может происходить независимо от накопления НЭЖК в крови с последующим β -окислением.

После образования в печеночной ткани ацетоацетат и БОМК биохимически способны переходить друг в друга под воздействием β -оксисмальной гидрогеназы. Но при этом, несмотря на то что печень является центральным органом в кетогенезе жвачных, данный орган не способен использовать образовавшиеся кетоны для энергообмена. Это объясняется отсутствием 3-оксиацилтрансферазы — фермента, с помощью которого кетонные тела могут осуществлять ацилирование в тио-эфир-ацетоацетил-КоА. Этот фермент есть в периферических тканях, однако при переизбытке КТ периферические ткани не успевают их утилизировать, что приводит к развитию кетозных заболеваний.

Влияние кетоза на репродуктивную функцию

Во многих публикациях [1, 4, 7, 8, 19] снижение репродуктивной способности животных с кетозными заболеваниями объясняется задержкой возврата к цикличности из-за снижения гонадотропин-рилизинг-гормона (ГнРГ) и частоты пульсации лютеинизирующего гормона, которая важна для развития овариальных фолликулов и овуляции [19]. Но практически все исследования [7, 8, 19], упоминающие этот момент, так или иначе увязывают снижение репродукции животных с ОЭБ, диагностируемым повышенной концентрацией БОМК и низким содержанием глюкозы в крови. Это вызывает вопросы, так как в большинстве случаев роль БОМК в качестве индикатора ОЭБ ясна, но не совсем понятна именно роль БОМК как прямого фактора снижения этой функции. Поэтому в обзоре внимание акцентируется на освещении работ, в которых изучалось непосредственное влияние БОМК на репродуктивную функцию животных.

В исследовании Заррина и др. [20] зафиксировано, что при искусственном повышении у здоровых животных БОМК в крови до уровня $1,7 \pm 0,1$ ммоль/л резко снизилась концентрация глюкозы в плазме. Механизм этого процесса пока еще до конца не выяснен. Можно предположить, что повышение БОМК формирует ингибирующее воздействие на некоторые регуляторные ферменты глюконеогенеза, что в итоге снижает синтез глюкозы в печени. Концентрация инсулина при этом не изменялась. В [20] также отмечено, что происходило снижение глюкагона,

предположительно через увеличение содержания его ингибитора — гамма-аминомасляной кислоты. Интересным является и то, что уровень НЭЖК также не изменился. Исходя из этого, можно предполагать, что БОМК может оказывать регулирующее воздействие на липолиз.

Подтверждения тому, что БОМК может регулировать липолиз в начале лактации, имеются в [21—23]. Так, Лемор и др. [23] показали, что БОМК может действовать как лиганд рецептора никотиновой кислоты GPR109A (ингибитора липолиза) в адипоцитах коров. Исследователи наблюдали тенденцию к снижению мРНК GPR109A в адипоцитах через три недели после отела по сравнению с неделями до родов.

В исследованиях Ван Дер Дрифта и др. [22] продемонстрировано, что существует дозозависимый ингибирующий эффект БОМК на липолиз изолированных адипоцитов *in vitro*. Максимальный тормозной эффект был достигнут при инкубационной дозе 3,0 ммоль/л, что соответствует концентрации клинического кетоза.

В целом вопрос возможности БОМК не только регулировать липолиз, но и оказывать корректирующее воздействие на соотношение различных видов липидов представляет интерес, особенно, учитывая то, что некоторые жирные кислоты могут оказывать токсическое воздействие. В исследовании Ямдагни и Шульца [24] у животных с кетозом отмечено изменение концентрации липидов в плазме крови: концентрации триглицеридов, эфиров холестерина и фосфолипидов при кетозе уменьшаются соответственно до 53, 34 и 38 % в сравнении со здоровыми животными. При этом концентрация НЭЖК увеличивалась практически в 10 раз. В [25] отмечено, что при кетозе снижаются сывороточные концентрации фосфолипидов и эфиров холестерина. Это согласуется с более свежими исследованиями Фьоре и др. [26], в которых концентрация триглицеридов, фосфолипидов и эфиров холестерина у животных с уровнем β -оксимасляной кислоты меньше 1 ммоль/л была ниже, тогда как при уровне больше 1 ммоль/л концентрация НЭЖК оказывалась выше. Причем произошло значительное увеличение плазменных концентраций пальмитиновой (C16), стеариновой (C18), C18:1 и C18:2 кислот.

Липотоксичность некоторых насыщенных свободных жирных кислот (C16 и C18), содержащихся в фолликулярной жидкости яичников, в отношении их воздействия на рост и развитие ооцитов коров общеизвестна [27]. Другое дело, как влияют данные кислоты при совместном влиянии с БОМК. В исследованиях Ду и др. [28] установлено, что высокие концентрации жирных кислот (олеиновой, линолевой, пальмитиновой, стеариновой и пальмитолеиновой кислот) и БОМК в крови могут нарушать гормональную соматотропную ось, что влияет на экспрессию и синтез ИФР-1 в гепатоцитах. В [28] гепатоциты теленка после культивации обрабатывали жирными кислотами и БОМК, что заметно подавляло экспрессию GHR1A (рецептора гормона роста), что в свою очередь понижало уровень белка JAK2 и фосфорилирование STAT5 (именно фосфорилированный STAT5 перемещается в ядро для активации транскрипции гена ИФР-1). Это говорит о том, что ось соматотропин-ИФР-1 нарушается через изменение сигналов JAK2-STAT5. Это означает, что возможность регуляции соматотропина и его деятельности в липолизе по принципу обратной связи через повышение концентрации ИФР-1 становится

невозможной. Это особенно важно в случае периферических тканей, так как ИФР-1 оказывает регулирующее влияние на большинство физиологических эффектов соматотропина. В результате снижение концентрации ИФР-1 приводит к нарушениям его функции в репродуктивной системе при пролиферации, дифференциации и повышении жизнеспособности клеток фолликулов [29]. Исследования последних лет показали, что недостаточный синтез и секреция гормонов, в том числе ИФР-1, определяющих гормональный статус жидкости овариальных фолликулов, оказывает значимое влияние на формирование яйцеклетки, компонентной к оплодотворению и развитию из нее биологически полноценных эмбрионов [30, 31]. Учитывая, что на ИФР-1 регулирующее воздействие, помимо соматотропина, оказывает и ряд других гормонов (инсулин и стероидные гормоны), снижающихся при кетозных заболеваниях, возникают все предпосылки указанных нарушений.

В этой связи также важными представляются исследования С. Н. Тресницкого и др. [32, 33], в которых отмечено, что «кетоз у беременных животных может являться причиной фетоплацентарной недостаточности, что негативно отражается на развитии и способствует рождению гипотрофного плода. На фетоплацентарную недостаточность указывают показатели эндокринного статуса, свидетельствующие о пониженном содержании в периферической крови стероидных гормонов». Исследования показывают, что при фиксации патологического процесса (в легкой форме, либо на начальном этапе его развития) происходит снижение концентрации стероидных гормонов — «концентрация прогестерона оказалась ниже клинически здоровых животных в 2,4 раза, тестостерона — в 1,7 раза, эстрадиола и кортизола — в 1,3 раза. В дальнейшем происходит включение компенсаторных механизмов фетоплацентарного комплекса, что усиливает синтез эстрадиола и тестостерона с повышением их концентрации в крови до уровня клинически здоровых животных. При этом концентрация прогестерона и кортизола остается низкой» [34]. Соответственно помимо прямого влияния на синтез ИФР-1 БОМК, создается ситуация, когда образование данного гормона ингибируется сниженным синтезом стероидных гормонов и инсулина.

Нехватка стероидных гормонов в свою очередь может быть объяснена тем, что у молочных животных после родов происходит снижение концентрации эфиров холестерина, вызываемое снижением синтеза лецитинхолестеринацилтрансфераза (ЛХАТ) — фермента печени, превращающего свободный холестерин липопротеинов высокой плотности в эфиры холестерина (более гидрофобную форму холестерина) [35]. Холестерин является предшественником синтеза стероидных гормонов. По данным Накагавы и Като [35], концентрация ЛХАТ снижается до и сразу после отела, а также в период ОЭБ при кетозных заболеваниях. В исследованиях Фьоре и др. [26] показано, что снижение концентрации эфиров холестерина совпадает со снижением концентрации следующих жирных кислот, входящих в состав эфиров холестерина: С12, С18:3 ω 3, С20:3 ω 3, С20:5 ω 3, С22:2 ω 6, С22:6 ω 3 и С23. В целом это согласуется с тем, что насыщенные ЖК снижают чувствительность к инсулину у молочного скота, тогда как ненасыщенные ЖК (особенно n-3) усиливают действие инсулина [36].

Ситуация с холестерином обращает на себя внимание еще и потому, что начальные этапы синтеза кетонов с образованием β -окси- β -метилглутарил-КоА идентичны с синтезом холестерина. Отличие заключается в месте прохождения реакций — синтез холестерина происходит в цитозоле клеток, а не в митохондриях.

В качестве еще одного примера исследований по прямому воздействию БОМК можно выделить работу Лерой и др. [37], в которой изучено воздействие двух различных концентраций БОМК (характерных для субклинического и клинического кетоза) и глюкозы на рост и развитие ооцитов коров. Результаты показали, что события, имитирующие кетоз, привели к нарушениям созревания ооцитов, в первую очередь за счет низких концентраций глюкозы. Женские половые гаметы очень чувствительны к метаболическим изменениям в организме, что определяло дополнительное токсическое воздействие БОМК, причем, что интересно, в варианте с концентрацией БОМК 1,8 ммоль/л нарушений в созревании ооцитов было больше, чем при концентрации БОМК 4,0 ммоль/л.

Важной составляющей при анализе влияния БОМК на организм животных является ее деятельность в снижении иммунитета, в некоторых случаях связанная со снижением содержания гликогена и фосфолипидов [38]. В исследованиях Хоебена и др. [39] рассматривали влияние БОМК на полиморфноядерные лейкоциты, играющих иммунную роль. Концентрации от 1 до 2,5 ммоль/л оказывали ингибирующее воздействие, снижая фагоцитарную и бактерицидную способность нейтрофилов.

Здзисинска и др. [40] обнаружили, что БОМК (3,8 ммоль/л) в чистом виде, либо в смеси с другими КТ, значительно снижает в эндотелиальных клетках крупного рогатого скота содержание интерферона (IFN) и фактора некроза опухоли (TNF) в эндотелиальных клетках крупного рогатого скота. Значительное ингибирование синтеза обоих цитокинов может формировать повышенную восприимчивость кетотических коров к инфекциям.

Показана роль БОМК в возникновении и развитии окислительного стресса с непосредственным воздействием на качество ооцитов и получаемое потомство. У животных с повышенными КТ фиксируется ослабление антиоксидантной защиты организма [41]. Ши и др. в [42] отметили, что у кетозных коров содержание малонового диальдегида (МДА) в плазме крови было выше в сравнении со здоровыми. Показатель общей антиоксидантной способности, глутатионпероксидазы, каталазы, соотношение глутатион/глутатион дисульфид были снижены, это говорит о том, что животные в кетозном состоянии испытывают окислительный стресс [43]. В крови кетозных коров происходит также снижение некоторых витаминов с антиоксидантной способностью [44].

Тенденция по содержанию МДА в [42] совпадает с данными С.Н. Тресницкого и др. [32]. Из материалов исследования следует, что «у коров с экстрагенитальной патологией беременности, у коров в сухостойный период и у глубокопостельных нетелей уже на начальном этапе ее развития отмечено увеличение содержания в крови МДА на 43,0 % и активизация системы антиоксидантной защиты как компенсаторной реакции на повреждающее действие продуктов перекисного окисления» [33]. Физиологические уровни активных форм кислорода (АФК) играют важную роль

во внутриклеточной передаче сигнала, развитии фолликула и овуляции, в то время как избыточное их производство приводит к окислительному стрессу, который повреждает ДНК клетки, липиды, белки биомембран и другие макромолекулы [45]. Изучение влияния АФК на формирование овариального фолликула показали, что его чрезмерное содержание инициирует апоптоз (запрограммированная гибель клеток) гранулезных клеток, а это в свою очередь приводит к атрезии антрального фолликула [46].

Заключение

Обзор литературных данных показал, что кетозное состояние может оказывать прямое и опосредованное воздействие на репродуктивный статус *Bos Taurus* через различные физиологические и биохимические механизмы. При этом, несмотря на большое количество исследований, многие составляющие именно прямого воздействия повышенных концентраций кетоновых тел и в первую очередь β -оксимасляной кислоты остаются не выясненными. Уточнение данных вопросов имеет важное прикладное значение, так как более полное понимание нарушений репродуктивной функции животных при повышенных концентрациях кетоновых тел позволит в дальнейшем моделировать и разрабатывать более совершенные диагностические тесты и различные решения коррекции.

Библиографический список

1. Mellado M., Dávila A., Gaytan L., Macias-Cruz U., Avendano-Reyes L., Garcia E. Risk factors for clinical ketosis and association with milk production and reproduction variables in dairy cows in a hot environment // *Tropical Animal Health and Production*. 2018. Vol. 7. № 50. P. 1611—1616. doi: 10.1007/s11250-018-1602-y
2. Mostert P.F., Bokkers E.A.M., Van Middelaar C.E., Hogeveen H., de Boer I.J.M. The economic impact of subclinical ketosis in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model // *Animal*. 2018. Vol. 12. № 1. P. 145—154. doi: 10.1017/S1751731117001306
3. Ширяев Г.В., Нукитин Г.С. Оценка применения кормовых добавок при субклиническом кетозе у высокопродуктивных коров // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2020. № 2. С. 45—50.
4. Duffield T.F., Lissemore K.D., McBride B.W., Leslie K.E. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production // *Journal of Dairy Science*. 2009. Vol. 92. № 2. P. 571—580. doi: 10.3168/jds.2008-1507
5. Diskin M.G., Murphy J.J., Sreenan J.M. Embryo survival in dairy cows managed under pastoral conditions // *Animal Reproduction Science*. 2006. Vol. 96. № 3-4. P. 297—311. doi: 10.1016/j.anireprosci.2006.08.008
6. Suthar V.S., Canelas-Raposo J., Deniz A., Heuwieser W. Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. № 5. P. 2925—2938. doi: 10.3168/jds.2012-6035
7. Rutherford A.J., Oikonomou G., Smith R.F. The effect of subclinical ketosis on activity at estrus and reproductive performance in dairy cattle // *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99. № 6. P. 4808—4815. doi: 10.3168/jds.2015-10154
8. Walsh R.B., Walton J.S., Kelton D.F., Le Blanc S.J., Leslie K.E., Duffield T.F. Effect of subclinical ketosis in early lactation on reproductive performance of postpartum dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2007. № 90. P. 2788—2796. doi: 10.3168/jds.2006-560
9. Antanaitis R., Juozaitienė V., Malašauskienė D., Televičius M., Urbutis M. Biomarkers from automatic milking system as an indicator of subclinical acidosis and subclinical ketosis in fresh dairy cows // *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2019. Vol. 22. № 4. P. 685—693. doi: 10.24425/pjvs.2019.129981
10. Эленшлегер А.А., Требухов А.В., Казакова О.Г. Некоторые биохимические показатели крови у коров при субклиническом кетозе // *Вестник Алтайского ГАУ*. 2014. № 10 (120). С. 96—99.
11. Данченко Е.О. Биохимические маркеры алкогольного кетоацидоза // *Судебная экспертиза Беларуси*. 2017. № 1 (4). С. 37—45.

12. Воинова А.А., Ковалев С.П., Трушкин В.А., Никитин Г.С. Изменение показателей пигментного обмена при лечении коров, больных хроническим гепатозом // Международный вестник ветеринарии. 2018. № 1. С. 114–118.
13. Зильбертер Ю.И., Зильбертер Т.М. Энергетический метаболизм: от нейронов и глии к целому мозгу; норма, патология и коррекция // Успехи физиологических наук. 2012. № 2. С. 37–53.
14. Боголюбова Н.В., Романов В.Н., Рыков Р.А. Особенности обменных процессов в организме коров с использованием в рационах комплекса дополнительного питания // Генетика и разведение животных. 2019. № 4. С. 92–97. doi: 10.31043/2410-2733-2019-3-3-10
15. Таганович А.Д., Олецкий Э.И., Коневалова Н.Ю., Лелевич В.В. Биологическая химия. Минск : Вышэйшая школа, 2013. 671 с.
16. Кардо Луис. Решение проблемы отрицательного энергетического баланса // Эффективное животноводство. 2015. № 7(116). С. 30–31.
17. Масловская А.А. Механизм развития кетоза при сахарном диабете и голодании // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2012. № 3 (39). С. 8–10.
18. McCarthy M.M., Mann S., Nydam D.V., Overton T.R., McArt J.A.A. Short communication: Concentrations of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in dairy cows are not well correlated during the transition period // Journal of Dairy Science. 2015. Vol. 98. № 9. P. 6284–6290.
19. Butler W.R. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows // Livestock Production Science 2003. № 83. P. 211–218. doi:10.1016/S0301-6226(03)00112-X
20. Zarrin M., De Matteis L., Vernay M.C.M.B., Wellnitz O., van Dorland H.A., Bruckmaier R.M. Long-term elevation of β -hydroxybutyrate in dairy cows through infusion: Effects on feed intake, milk production, and metabolism // Journal of Dairy Science. 2013. Vol. 96. № 5. P. 2960–2972.
21. Metz S.H.M., van den Bergh S.G. Regulation of fat mobilization in adipose tissue of dairy cows in the period around parturition // Netherlands Journal of Agricultural Science. 1977. 25. P. 198–211.
22. Van der Drift S.G.A., Everts R.R., Houweling M., van Leengoed L.A.M.G., Stegeman J.A., Tielens A.G.M., et al. Effects of β -hydroxybutyrate and isoproterenol on lipolysis in isolated adipocytes from periparturient dairy cows and cows with clinical ketosis // Research in Veterinary Science. 2013. Vol. 94. № 3. P. 433–439. doi:10.1016/j.rvsc.2012.11.009
23. Lemor A., Hosseini A., Sauerwein H., Mielenz M. Transition period-related changes in the abundance of the mRNAs of adiponectin and its receptors, of visfatin, and of fatty acid binding receptors in adipose tissue of high-yielding dairy cows // Domestic Animal Endocrinology. 2009. Vol. 37. № 1. P. 37–44. doi:10.1016/j.domaniend.2009.01.004
24. Yamdagni S., Schultz L.H. Fatty acid composition of blood plasma lipids of normal and ketotic cows // Journal of Dairy Science. 1970. № 53. P. 1046–1050.
25. Brumby P.E., Anderson M., Tuckley B., Storry J.E., Hibbit K.G. Lipid Metabolism in the Cow during Starvation-Induced Ketosis // Biochemical Journal. 1975. Vol. 146. № 3. P. 609–615.
26. Fiore E.T., Tessari R., Morgante M. Identification of Plasma Fatty Acids in Four Lipid Classes to Understand Energy Metabolism at Different Levels of Ketonemia in Dairy Cows Using Thin Layer Chromatography and Gas Chromatographic Techniques (TLC-GC) // Animals. 2020. Vol. 10. № 4. P. 571. doi:10.3390/ani10040571
27. Aardema H., van Tol H.T.A., Wubbolts R.W., Brouwers J.F.H.M., Gadella B.M., Roelen B.A.J. Stearoyl-CoA desaturase activity in bovine cumulus cells protects the oocyte against saturated fatty acid stress // Biology of Reproduction. 2017. Vol. 96. № 5. P. 982–992. doi:10.1095/biolreprod.116.146159
28. Du X., Zhu Y., Peng Z., Cui Y., Zhang Q., Shi Z., et al. High concentrations of fatty acids and β -hydroxybutyrate impair the growth hormone-mediated hepatic JAK2-STAT5 pathway in clinically ketotic cows // Journal of Dairy Science. 2018. Vol. 101. N 4. P. 3476–3487. doi:10.3168/jds.2017-13234
29. Silva J.R.V., Figueiredo J.R., van den Hurk R. Involvement of growth hormone (GH) and insulin-like growth factor (IGF) system in ovarian folliculogenesis // Theriogenology. 2009. Vol. 71. № 8. P. 1193–1208. doi:10.1016/j.theriogenology.2008.12.015
30. Heidari M., Kafi M., Mirzaei A., Asaadi A., Mokhtari A. Effects of follicular fluid of preovulatory follicles of repeat breeder dairy cows with subclinical endometritis on oocyte developmental competence // Animal Reproduction Science. 2019. № 205. P. 62–69. doi:10.1016/j.anireprosci.2019.04.004
31. Nasioudis D., Minis E., Irani M., Kreines M., Witkin S.S., Spandorfer S.D. Insulin-like growth factor-1 and soluble FMS-like tyrosine kinase-1 prospectively predict cancelled IVF cycles // Journal of Assisted Reproduction and Genetics. 2019. Vol. 36. № 12. P. 2485–2491. doi:10.1007/s10815-019-01618-3

32. Тресницкий С.Н., Авдеенко В.С., Пименов Н.В. Метаболический стресс у сухостойных коров и нетелей при развитии субклинического кетоза // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2017. № 12. С. 6—13.
33. Авдеенко В.С., Калюжный И.И., Тресницкий С.Н. Метаболический стресс у сухостойных коров и нетелей при развитии субклинического кетоза // Ветеринария. 2019. № 2. С. 36—41. doi: 10.30896/0042-4846.2019.22.2.36-41
34. Тресницкий С.Н. Теоретическое обоснование и практическое применение инновационных технологий в диагностике, терапии и профилактике экламптического синдрома у коров : дис. ... д-ра вет. наук. Саратов : Саратов. гос. аграрный ун-т им. Н.И. Вавилова, 2018.
35. Nakagawa H., Katoh N. Reduced activity of lecithin: Cholesterol acyltransferase in the serum of cows with ketosis and left displacement of the abomasum // *Veterinary Research Communications*. 1998. № 22. P. 517—524. doi: 10.1023/a:1006189603071
36. Mc Fadden J.W. Review: Lipid biology in the periparturient dairy cow: contemporary perspectives // *Animal*. 2020. Vol. 14. N S1 N 1. P. 165—175. doi:10.1017/S1751731119003185
37. Leroy J., Vanholder T., Opsomer G., Van Soom A., Kruif A. The In Vitro Development of Bovine Oocytes after Maturation in Glucose and beta-Hydroxybutyrate Concentrations Associated with Negative Energy Balance in Dairy Cows // *Reproduction in Domestic Animals*. 2006. Vol. 41. № 2. P. 119—123.
38. Лукашик Г.В. Морфологические и цитохимические изменения клеток крови у высокопродуктивных коров при кетозе // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2014. № 160. С. 130—135.
39. Hoeben D., Heyneman R., Burvenich C. Elevated levels of β -hydroxybutyric acid in periparturient cows and in vitro effect on respiratory burst activity of bovine neutrophils // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 1997. Vol. 58. № 2. P. 165—170.
40. Zdzisińska B., Filar J., Paduch R., Kaczor J., Lokaj I., Kandefser-Szerszeń M. The influence of ketone bodies and glucose on interferon, tumor necrosis factor production and NO release in bovine aorta endothelial cells // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2000. Vol. 74. № 3-4. P. 237—247.
41. Ярован Н.И., Новикова И.А. Окислительный стресс у высокопродуктивных коров при субклиническом кетозе в условиях промышленного содержания // *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. 2012. № 5. С. 146—148.
42. Shi X., Li X., Li D., Li Y., Song Y., Deng Q., et al. β -Hydroxybutyrate activates the NF- κ B signaling pathway to promote the expression of pro-inflammatory factors in calf hepatocytes // *Cellular Physiology and Biochemistry*. 2014. № 33. P. 920—932.
43. Song Y., Li N., Gu J., Fu S., Peng Z., Zhao C., et al. β -Hydroxybutyrate induces bovine hepatocyte apoptosis via an ROS-p38 signaling pathway // *Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99. № 11. P. 9184—9198. doi:10.3168/jds.2016-11219
44. Ковалёв С.П., Щербачев Г.Г., Раднатаров В.Д. и др. Обмен витаминов у коров, больных кетозом // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*. 2018. № 2. С. 140—142.
45. Gupta R.K., Miller K.P., Babus J.K., Flaws J.A. Methoxychlor inhibits growth and induces atresia of antral follicles through an oxidative stress pathway // *Toxicological Sciences*. 2006. Vol. 93. № 2. P. 382—389. doi:10.1080/01926230701459960
46. Devine P.J., Perreault S.D., Luderer U. Roles of reactive oxygen species and antioxidants in ovarian toxicity // *Biology of Reproduction*. 2012. Vol. 86. № 2. P. 1-27. doi:10.1095/biolreprod.111.095224

References

1. Mellado M, Dávila A, Gaytan L, Macias-Cruz U, Avendano-Reyes L, et al. Risk factors for clinical ketosis and association with milk production and reproduction variables in dairy cows in a hot environment. *Tropical Animal Health and Production*. 2018; 7(50):1611—1616. doi: 10.1007/s11250-018-1602-y
2. Mostert PF, Bokkers EAM, Van Middelaar CE, Hogeveen H, de Boer IJM. The economic impact of subclinical ketosis in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model. *Animal*. 2018; 12(1):145-154. doi:10.1017/S1751731117001306
3. Shiryayev GV, Nikitin GS. Evaluation of the use of feed additives in subclinical ketosis in highly productive cows. *Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2020; (2):45—50. doi: 10.17238/issn2072-6023.2020.2.45
4. Duffield TF, Lissemore KD, McBride BW, Leslie KE. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal of Dairy Science*. 2009; 92(2):571—580. doi: 10.3168/jds.2008-1507

5. Diskin MG, Murphy JJ, Sreenan JM. Embryo survival in dairy cows managed under pastoral conditions. *Animal Reproduction Science*. 2006; (96):3-4:297—311. doi: 10.1016/j.anireprosci.2006.08.008
6. Suthar VS, Canelas-Raposo J, Deniz A, Heuwieser W. Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96(5):2925—2938. doi: 10.3168/jds.2012-6035
7. Rutherford AJ, Oikonomou G, Smith RF. The effect of subclinical ketosis on activity at estrus and reproductive performance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(6):4808—4815. doi: 10.3168/jds.2015-10154
8. Walsh RB, Walton JS, Kelton DF, Le Blanc SJ, Leslie KE, et al. Effect of subclinical ketosis in early lactation on reproductive performance of postpartum dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2007; 90(6): 2788—2796. doi: 10.3168/jds.2006-560
9. Antanaitis R, Juozaitienė V, Malašauskienė D, Televičius M, Urbutis M. Biomarkers from automatic milking system as an indicator of subclinical acidosis and subclinical ketosis in fresh dairy cows. *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2019; 22(4):685—693. doi: 10.24425/pjvs.2019.129981
10. Elenshleger AA, Trebukhov AV, Kazakova OG. Some biochemical blood indices in cows with subclinical ketosis. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014; (10):96—99. (In Russ).
11. Danchenko EO. Biochemical markers of alcoholic ketoacidosis. *Forensic Examination of Belarus*. 2017; (1):37—45. (In Russ).
12. Voinova AA., Kovalev S.P., Trushkin V.A., Nikitin G.S. Change of pigment metabolism indicators in treatment of cows affected by chronic hepatitis. *International Bulletin of Veterinary Medicine*. 2018; (1):114—118. (In Russ).
13. Zilberter YI, Zilberter TM. Power metabolism: from neurons and glia to the whole brain; norm, pathology and correction. *Progress in Physiological Science*. 2012; 43(2):37—53. (In Russ).
14. Bogolyubova NV, Romanov VN, Rykov RA. Features of metabolic processes in the body of cows with the use of additional nutrition in the diets. *Genetics and breeding of animals*. 2019; (4):92—97. (In Russ). doi: 10.31043/2410-2733-2019-3-3-10
15. Taganovich AD, Oletskii EI, Konevalova NY, Lelevich VV. *Biologicheskaya khimiya* [Biological chemistry]. Minsk: Vysheishaya shchkola Publ.; 2013. (In Russ).
16. Cardo L. Solving the problem of negative energy balance. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2015; (7):30—31. (In Russ).
17. Maslovskaya AA. Mechanism of ketosis in diabetes mellitus and starvation. *Journal of the Grodno State Medical University*. 2012; 3:8—10. (In Russ).
18. McCarthy MM, Mann S, Nydam DV, Overton TR, McArt JAA. Short communication: Concentrations of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in dairy cows are not well correlated during the transition period. *Journal of Dairy Science*. 2015; 98(9):6284—6290. doi: 10.3168/jds.2015-9446
19. Butler WR. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science*. 2003; 83(2-3):211—218. doi: 10.1016/S0301-6226(03)00112-X
20. Zarrin M, De Matteis L, Vernay MCMB, Wellnitz O, van Dorland H.A, et al. Long-term elevation of β -hydroxybutyrate in dairy cows through infusion: Effects on feed intake, milk production, and metabolism. *Journal of Dairy Science*. 2013; 96(5):2960—2972. doi: 10.3168/jds.2012-6224
21. Metz SHM, van den Bergh SG. Regulation of fat mobilization in adipose tissue of dairy cows in the period around parturition. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 1977; 25(3):198—211. doi: 10.18174/njas.v25i3.17132
22. Van der Drift SGA, Everts RR, Houweling M, van Leengoed LAMG, Stegeman JA, et al. Effects of β -hydroxybutyrate and isoproterenol on lipolysis in isolated adipocytes from periparturient dairy cows and cows with clinical ketosis. *Research in Veterinary Science*. 2013; 94(3):433—439. doi: 10.1016/j.rvsc.2012.11.009
23. Lemor A, Hosseini A, Sauerwein H, Mielenz M. Transition period-related changes in the abundance of the mRNAs of adiponectin and its receptors, of visfatin, and of fatty acid binding receptors in adipose tissue of high-yielding dairy cows. *Domestic Animal Endocrinology*. 2009; 37(1):37—44. doi: 10.1016/j.domaniend.2009.01.004
24. Yamdagni S, Schultz LH. Fatty acid composition of blood plasma lipids of normal and ketotic cows. *Journal of Dairy Science*. 1970; 53(8):1046—1050. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(70)86343-3
25. Brumby PE, Anderson M, Tuckley B, Storry JE, Hibbit KG. Lipid Metabolism in the Cow during Starvation-Induced Ketosis. *Biochemical Journal*. 1975; 146(3):609—615. doi: 10.1042/bj1460609
26. Fiore ET, Tessari R, Morgante M, Gianesella M, Badon T, et al. Identification of Plasma Fatty Acids in Four Lipid Classes to Understand Energy Metabolism at Different Levels of Ketonemia in Dairy Cows Using

Thin Layer Chromatography and Gas Chromatographic Techniques (TLC-GC). *Animals*. 2020; 10(4):571. doi: 10.3390/ani10040571

27. Aardema H, van Tol HTA, Wubbolts RW, Brouwers JFHM, Gadella BM, et al. Stearoyl-CoA desaturase activity in bovine cumulus cells protects the oocyte against saturated fatty acid stress. *Biology of Reproduction*. 2017; 96(5):982–992. doi: 10.1095/biolreprod.116.146159

28. Du X, Zhu Y, Peng Z, Cui Y, Zhang Q, et al. High concentrations of fatty acids and β -hydroxybutyrate impair the growth hormone-mediated hepatic JAK2-STAT5 pathway in clinically ketotic cows. *Journal of Dairy Science*. 2018; 101(4):3476–3487. doi: 10.3168/jds.2017-13234

29. Silva JRV, Figueiredo JR, van den Hurk R. Involvement of growth hormone (GH) and insulin-like growth factor (IGF) system in ovarian folliculogenesis. *Theriogenology*. 2009; 71(8): 1193–1208. doi: 10.1016/j.theriogenology.2008.12.015

30. Heidari M, Kafi M, Mirzaei A, Asaadi A, Mokhtari A. Effects of follicular fluid of preovulatory follicles of repeat breeder dairy cows with subclinical endometritis on oocyte developmental competence. *Animal Reproduction Science*. 2019; 205:62–69. doi: 10.1016/j.anireprosci.2019.04.004

31. Nasioudis D, Minis E, Irani M, Kreines M, Witkin SS, et al. Insulin-like growth factor-1 and soluble FMS-like tyrosine kinase-1 prospectively predict cancelled IVF cycles. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*. 2019; 36(12):2485–2491. doi: 10.1007/s10815-019-01618-3

32. Tresnitskiy SN, Avdeenko VS, Pimenov NV. Metabolic stress in dry cows and heifers during the development of subclinical ketosis. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2017; (12): 6–13. (In Russ).

33. Avdeenko VS, Kalyuzhny II, Tresnitskiy SN. Metabolic stress in dry cows and nets in development of subclinical ketosis. *Veterinary Medicine*. 2019; (2):36–41. (In Russ). doi: 10.30896/0042-4846.2019.22.2.36-41

34. Tresnitskiy SN. *Teoreticheskoe obosnovanie i prakticheskoe primeneniye innovatsionnykh tekhnologii v diagnostike, terapii i profilaktike eklampnicheskogo sindroma u korov* [Theoretical substantiation and practical application of innovative technologies in the diagnosis, therapy and prevention of eclamptic syndrome in cows] [Dissertation] Saratov; 2018 (In Russ).

35. Nakagawa H, Katoh N. Reduced activity of lecithin: Cholesterol acyltransferase in the serum of cows with ketosis and left displacement of the abomasum. *Veterinary Research Communications*. 1998; 22(8):517–524. doi: 10.1023/a:1006189603071

36. Mc Fadden JW. Review: Lipid biology in the periparturient dairy cow: contemporary perspectives. *Animal*. 2020; 14(S1): s165–s175. doi: 10.1017/S1751731119003185

37. Leroy J, Vanholder T, Opsomer G, Van Soom A, Kruijff A. The In Vitro Development of Bovine Oocytes after Maturation in Glucose and beta-Hydroxybutyrate Concentrations Associated with Negative Energy Balance in Dairy Cows. *Reproduction in Domestic Animals*. 2006; 41(2):119–123. doi: 10.1111/j.1439-0531.2006.00650.x

38. Lukashik GV. Morphological and cytochemical changes of blood cells at highly productive cows at metabolism infringement. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2014; (160):130–135. (In Russ).

39. Hoeben D, Heyneman R, Burvenich C. Elevated levels of β -hydroxybutyric acid in periparturient cows and in vitro effect on respiratory burst activity of bovine neutrophils. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 1997; 58(2):165–170. doi: 10.1016/S0165-2427(97)00031-7

40. Zdzisińska B, Filar J, Paduch R, Kaczor J, Lokaj I, et al. The influence of ketone bodies and glucose on interferon, tumor necrosis factor production and NO release in bovine aorta endothelial cells. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2000; 74(3-4):237–247. doi: 10.1016/S0165-2427(00)00175-6

41. Yarovan NI, Novikova IA. Oxidative stress in highly productive cows with subclinical ketosis in industrial conditions. *Bulletin of agrarian science*. 2012; (5):146–148.

42. Shi X, Li X, Li D, Li Y, Song Y, et al. β -Hydroxybutyrate activates the NF- κ B signaling pathway to promote the expression of pro-inflammatory factors in calf hepatocytes. *Cellular Physiology and Biochemistry*. 2014; 33(4):920–932.

43. Song Y, Li N, Gu J, Fu S, Peng Z, et al. β -Hydroxybutyrate induces bovine hepatocyte apoptosis via an ROS-p38 signaling pathway. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(11):9184–9198. doi: 10.3168/jds.2016-11219

44. Kovalyov SP, Shcherbakov GG, Radnatarov VD, Kiselenko PS, Trushkin VA, et al. Vitamin exchange in cows suffering from ketosis. *Issues of Legal regulation in veterinary medicine*. 2018; (2):140–142.

45. Gupta RK, Miller KP, Babus JK, Flaws JA. Methoxychlor inhibits growth and induces atresia of antral follicles through an oxidative stress pathway. *Toxicological Sciences*. 2006; 93(2):382-389. doi: 1093/toxsci/kfl052

46. Devine PJ, Perreault SD, Luderer U. Roles of reactive oxygen species and antioxidants in ovarian toxicity. *Biology of Reproduction*. 2012; 86(2): 1–10. doi: 10.1095/biolreprod.111.095224

Об авторах:

Ширяев Геннадий Владимирович — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела воспроизводства сельскохозяйственных животных, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Московское шоссе, д. 55а; e-mail: gs-2027@yandex.ru

ORCID 0000-0002-4698-3917

SPIN-код: 1915-8153

Станиславович Татьяна Ивановна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологии развития, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Московское шоссе, д. 55а; e-mail: lllfor@mail.ru

ORCID 0000-0003-2157-070X

SPIN-код: 3500-0309

Политов Владимир Петрович — ветеринарный врач, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных — филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр животноводства — ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИГРЖ), Российская Федерация, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Московское шоссе, д. 55а; e-mail: v.politow4003@yandex.ru

SPIN-код: 5937-3063

About authors:

Shiryayev Gennady Vladimirovich — PhD (Agr. Sci.), Senior Researcher, Department of Reproduction of Farm Animals, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, 55a, Moscow highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; e-mail: gs-2027@yandex.ru

ORCID 0000-0002-4698-3917

SPIN code: 1915-8153

Stanislavovich Tatyana Ivanovna — PhD (Agr. Sci.), Leading Researcher, Laboratory of Development Biology, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, 55a, Moscow highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; e-mail: lllfor@mail.ru

ORCID 0000-0003-2157-070X

SPIN code: 3500-0309

Politov Vladimir Petrovich — veterinarian, Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L. K. Ernst Federal Science Center for Animal Husbandry, 55a, Moscow highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russian Federation; e-mail: v.politow4003@yandex.ru

SPIN code: 5937-3063