



Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: АГРОНОМИЯ И ЖИВОТНОВОДСТВО

2022 Том 17 № 2
DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2
agrojournal.rudn.ru

Научный журнал
Издается с 2006 г.

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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Ответственный секретарь

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

Члены редакционной коллегии

Азизи С., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран
Астарханова Т.С., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Благодатская Е.В., д-р биол. наук, проф., Центр экологических исследований им. Гельмгольца, Лейпциг, Германия
Валентини Р., д-р биол. наук, проф., лауреат Нобелевской премии мира (2007), Университет Тушии, Витербо, Италия
Васильев А.А., д-р биол. наук, проф., МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ
Гинс М.С., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФНЦО Овощеводства РАН, Московская обл., РФ
Долженко В.И., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ ВНИИЗР, Пушкин, Санкт-Петербург, РФ
Донник И.М., д-р биол. наук, проф., академик РАН, Российская академия наук, Москва, РФ
Дорожкин В.И., д-р биол. наук, академик РАН, проф., ВНИИВСГЭ — филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, Москва, РФ
Дубенко Н.Н., д-р с.-х. наук, проф., академик РАН, РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Егоров И.А., д-р биол. наук, академик РАН, проф., ФНЦ «ВНИТИП» РАН, Сергиев Посад, РФ
Еланский С.Н., д-р биол. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ
Забережный А.Д., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., ФГБНУ ВНИТИБП, Московская обл., РФ
Завалин А.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ
Заргар М., канд. с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ
Игнатов А.Н., д-р биол. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Ковеос Д., PhD, проф., Университет Аристотеля г. Салоники, Салоники, Греция
Коцаев А.Г., д-р биол. наук, чл.-кор. РАН, проф., КубГАУ, Краснодар, РФ
Котарев В.И., д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВНИВИПФИТ», Воронеж, РФ
Кузяков Я.В., д-р биол. наук, проф., Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Геттинген, Германия
Ленченко Е.М., д-р вет. наук, проф., ФГБОУ ВО «МГУПП», Москва, РФ
Мохаммади-Неджад М., д-р биол. наук, проф., Университет Шахида Бахонара в Кермане, Керман, Иран
Никитченко Д.В., д-р биол. наук, проф., ОМПК, Москва, РФ
Новиков А.Е., д-р тех. наук, доц., ВолГТУ, Волгоград, РФ
Овчинников А.С., д-р с.-х. наук, чл.-кор. РАН, ВолГАУ, Волгоград, РФ
Пишоваров В.Ф., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФНЦО Овощеводства РАН, Московская обл., РФ
Пименов Н.В., д-р биол. наук, проф., проф. РАН, МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, РФ
Плескачев Ю.Н., д-р с.-х. наук, проф., ФИЦ «Немчиновка», Московская обл., РФ
Плющиков В.Г., д-р с.-х. наук, проф., РУДН, Москва, РФ
Соловьев А.А., д-р биол. наук, проф. РАН, проф., ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, РФ
Сычѳв В.Г., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», Москва, РФ
Ткачев А.В., д-р с.-х. наук, доц., РУДН, Москва, РФ
Уша Б.В., д-р вет. наук, заслуж. деятель науки и техники РФ, академик РАН, МГУПП, Москва, РФ
Чамурлиев Г.О., канд. с.-х. наук, РУДН, Москва, РФ
Юлдашбаев Ю.А., д-р с.-х. наук, академик РАН, проф., РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, РФ
Юсефи М., канд. биол. наук, доц., РУДН, Москва, РФ

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

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

4 выпуска в год (ежеквартально)

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

Языки: русский, английский.

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

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

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

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

1.5.9. Ботаника (сельскохозяйственные науки), 1.5.19. Почвоведение (сельскохозяйственные науки), 4.1.1. Общее земледелие растениеводство (сельскохозяйственные науки), 4.2.3. Инфекционные болезни и иммунология животных (ветеринарные науки);

до 16.10.2022 г.: 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), 06.02.04 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 10.06.2022. Выход в свет 15.06.2022. Формат 70×100/16.

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

Усл. печ. л. 9,7. Тираж 500 экз. Заказ № 430. 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

2022 VOLUME 17 No. 2
DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2
agrojournal.rudn.ru
Founded in 2006

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

EDITOR-IN-CHIEF

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

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

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

EXECUTIVE SECRETARY

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

EDITORIAL BOARD MEMBERS

- Sonia Agigi* — D. Sc. in Biology, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Tamara S. Astarkhanova — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Evgenia V. Blagodatskaya — D. Sc. in Biology, Professor, Helmholtz-Center for Environmental Research, Leipzig, Germany
Georgiy O. Chamurlijev — Ph.D. in Agriculture, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Victor I. Dolzhenko — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russian Federation
Irina M. Donnik — D. Sc. in Biology, Professor, Academician of the RAS, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
Vasily I. Dorozhkin — D. Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology (Branch of Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine, RAS), Moscow, Russian Federation
Nikolai N. Dubenok — D. Sc. in Agriculture, Professor, Academician of the RAS, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
Ivan A. Egorov — D. Sc. in Biology, Academician of the RAS, Professor, Head of the Scientific Direction of Poultry Nutrition, All-Russian Research and Technological Poultry Institute of RAS, Sergiev Posad, Russian Federation
Sergey N. Elansky — D. Sc. in Biology, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
Murat S. Gins — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation
Alexander N. Ignatov — D. Sc. in Biology, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Andrey G. Koshaev — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor of the RAS, Professor, Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation
Vyacheslav I. Kotarev — D. Sc. in Agriculture, Professor, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation
Dimtrios Koveos — PhD, Professor, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece
Yakov V. Kuzakov — Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Göttingen, Göttingen, Germany
Ekaterina M. Lenchenko — D. Sc. in Veterinary Medicine, Professor, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
Ghasem Mohammadi-Nejad — PhD, Professor, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
Dmitry V. Nikitchenko — D. Sc. in Biology, Professor, Ostankino Meat Processing Plant, Moscow, Russian Federation
Andrey E. Novikov — D. Sc. in Technology, Associate Professor, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation
Aleksey S. Ovchinnikov — D. Sc. in Agriculture, Corresponding Member of the RAS, Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation
Nikolai V. Pimenov — D. Sc. in Biology, Professor, Professor of the RAS, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Viktor F. Pivovarov — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Federal Scientific Center for Vegetable Growing of the RAS, Moscow Region, Russian Federation
Yury N. Pleskachev — D. Sc. in Agriculture, Professor, Nemchinovka Federal Research Center, Moscow Region, Russian Federation
Vadim G. Plyushchikov — D. Sc. in Agriculture, Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Alexander A. Solovyov — D. Sc. in Biology, Professor of the RAS, Professor, All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Victor G. Sychev — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation
Alexander V. Tkachev — D. Sc. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Boris V. Usha — D. Sc. in Veterinary Medicine, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Academician of the RAS, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russian Federation
Riccardo Valentini — D. Sc. in Biology, Professor, Nobel Peace Prize Laureate (2007), University of Tuscia, Viterbo, Italy
Aleksey A. Vasiliev — D. Sc. in Biology, Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
Morteza Yousefi — Ph.D. in Biology, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Yusupzhan A. Yuldashbaev — D. Sc. in Agriculture, Academician of the RAS, Professor, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation
Aleksey D. Zaberezhny — D. Sc. in Biology, Corresponding Member of the RAS, Professor, All-Russian Research and Technological Institute of Biological Industry, Moscow Region, Russian Federation
Meisam Zargar — Ph.D. in Agriculture, Associate Professor, RUDN University, Moscow, Russian Federation
Aleksey A. Zavalin — D. Sc. in Agriculture, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Moscow, Russian Federation

RUDN JOURNAL OF AGRONOMY AND ANIMAL INDUSTRIES

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

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

Publication frequency: Quarterly

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

Languages: Russian, English

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

- Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В.** Сортоспецифичность корнеобразования у зеленых черенков облепихи алтайской селекции в производственном опыте 131
- Бисчоков Р.М.** Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур средствами искусственных нейронных сетей 146
- Дукси Ф.** Способы обработки, позволяющие нарушить органическую стабильность семян *Ceratonia siliqua* L. в лаборатории 158

Агротехнологии и мелиорация земель

- Рыбашлыкова Л.П.** Комплексная оценка функционирования *Krascheninnikovia ceratoides* L. и его продуктивный потенциал на мелиорированных пастбищах аридной зоны 166

Озеленение населенных пунктов

- Тростенюк Н.Н., Святковская Е.А., Салтан Н.В.** Оценка интродукционных испытаний дальневосточных видов рода *Primula* L. в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте 180

Животноводство

- Юлдашбаев Ю.А., Ватников Ю.А., Руденко П.А., Руденко А.А.** Особенности функционального состояния организма овец при стрессе 193

Ветеринария

- Дрожжин О.С., Шипилов В.В.** Микроэлементный статус высокопродуктивных коров при различном физиологическом состоянии в условиях повышенной техногенной нагрузки 203
- Гизингер О.А.** Обоснование применения рекомбинантного интерлейкина-2 при травматической болезни в ветеринарии 210
- Шапошников И.Т., Коцарев В.Н., Скориков В.Н.** Эффективность применения Аминоселеферона-Б при иммунодефицитном состоянии у высокопродуктивных коров в условиях техногенной нагрузки на окружающую среду 221

Управление рисками в сельском хозяйстве

- Якушев В.В., Воропаев В.В., Ломакин В.С.** Методический подход к оценке рисков возможного недобора урожая при реализации агротехнологий 232

Contents

Crop production

Zubarev Y.A., Gunin A.V., Vorobjeva A.V. Rooting green cuttings of Altai seabuckthorn cultivars in industrial-scale experiment..... 131

Bischokov R.M. Analysis, modelling and forecasting of crop yields using artificial neural networks 146

Duksi F. Effects of various pre-sowing treatments on in vitro seed germination of *Ceratonia siliqua* L..... 158

Agricultural technologies and land reclamation

Rybashlykova L.P. Comprehensive assessment of *Krascheninnikovia ceratoides* L. development and its productive potential in reclaimed pastures of arid zone 166

Landscaping of settlements

Trostenyuk N.N., Sviatkovskaya E.A., Saltan N.V. Assessment of introduction studies on far eastern Primula species in the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute..... 180

Animal breeding

Yuldashbaev Y.A., Vatnikov Y.A., Rudenko P.A., Rudenko A.A. Features of the functional state of the organism of sheep under stress193

Veterinary science

Drozhdzhin O.S., Shipilov V.V. Trace element status of highly productive cows in different physiological conditions under increased technogenic load203

Gizinger O.A. Use of recombinant interleukin-2 in traumatic disease in veterinary medicine210

Shaposhnikov I.T., Kotsarev V.N., Skorikov V.N. The effectiveness of the use of Aminoseleferon-B with immunodeficiency in highly productive cows under conditions of technogenic environmental load221

Risk management in agriculture

Yakushev V.V., Voropayev V.V., Lomakin V.S. Methodical approach to assessing risks of possible yield losses during implementation of agricultural technologies232




Растениеводство Crop production

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-2-131-145
УДК 631.527:631.535: 582.711

Научная статья / Research article

Сортоспецифичность корнеобразования у зеленых черенков облепихи алтайской селекции в производственном опыте

Ю.А. Зубарев , А.В. Гунин  , А.В. Воробьева 

Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий,
г. Барнаул, Российская Федерация
 alexeygunin@yandex.ru

Аннотация. Технологии зеленого черенкования облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) в настоящее время хорошо проработаны и при соблюдении оптимальных параметров высокоэффективны. Различия в корнеобразовании в большинстве случаев сводятся к сортовой специфичности. В условиях полукрытых культивационных сооружений определенное влияние на процессы развития черенков могут оказывать погодные условия. В связи с этим целью исследований является изучение сортоспецифичности корнеобразования у зеленых черенков облепихи в многолетнем производственном эксперименте в условиях полукрытых культивационных сооружений. Исследования проведены в 2018—2021 гг. в лесостепной зоне Алтайского Приобья. Объекты исследований — 17 сортов облепихи селекции Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий. Установлена достоверная сортовая специфика способности черенков к образованию корней. Показано, что условия года влияют на данный показатель незначительно, что говорит о существенном гомеостазе сортов облепихи в этом аспекте. Наибольший уровень ризогенеза выявлен у сортов Алтайская, Огниво, Гном, Этна, Елизавета, Афина, процент окоренения которых в среднем за годы исследования составил 91,2...95,5 %. В группу плохо окореняющихся вошли сорта Ажурная, Аурелия, Злата, Сударушка и Августина с процентом окоренения 70,5...79,7 %. Остальные сорта занимают промежуточные позиции. Показана высокая корреляционная зависимость ($0,59 \pm 0,21$) качества формируемой черенками корневой системы от способности их к ризогенезу. Сорта с более высоким процентом окоренения обеспечили более высокий выход саженцев первого сорта. Лучшими из них оказались сорта Алтайская, Гном и Огниво, сформировавшие соответственно 79,1, 82,1 и 83,8 %

© Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В., 2022



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

саженцев первого сорта. Плохо окореняемые сорта (Августина, Сударушка и Злата) обеспечили получение от 55,4 до 64,4 % посадочного материала первого сорта. Коэффициент вариации показателя выхода стандартных однолетних саженцев облепихи оказался низким и не превышал 9,7 % у сорта Августина. Вариация в качественном разрезе выявлена на более высоком уровне (до 27,3 %) у сорта Сударушка, по большинству сортов она оказалась незначительной или средней — от 2,7 до 18,7 %. По результатам кластерного анализа изучаемые сорта облепихи распределены на три обособленных блока: слабо, средне и хорошо окореняющиеся генотипы.

Ключевые слова: облепиха, *Hippophae rhamnoides* L., зеленые черенки, корнеобразование, сортовые особенности, качество саженцев

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

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации согласно тематическому плану Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий (тема № 121112900046-9).


Вклад авторов. Зубарев Ю.А. — планирование и анализ полученных данных, написание текста; Гунин А.В. — сбор и обработка материалов; Воробьева А.В. — сбор материалов.

История статьи: поступила в редакцию 29 марта 2022 г., принята к публикации 25 апреля 2022 г.

Для цитирования: Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В. Сортоспецифичность корнеобразования у зеленых черенков облепихи алтайской селекции в производственном опыте // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 131—145. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-131-145

Rooting green cuttings of Altai seabuckthorn cultivars in industrial-scale experiment

Yuri A. Zubarev , Alexey V. Gunin  , Anastasia V. Vorobjeva 

Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, Barnaul, Russian Federation
 alexeygunin@yandex.ru

Abstract. Green cutting propagation technologies of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) are well developed and highly effective under optimal parameters of implementation. Differences in root development in most cases are connected with varietal specificity. In conditions of uncovered greenhouses, weather particularities can influence significantly on development of cuttings. Hence, the aim of investigation was to study the cultivar difference in root development of seabuckthorn green cuttings in a long-term industrial-scale experiment in conditions of uncovered greenhouse facilities. The experiments were carried out in forest-steppe area of Altai krai in 2018—2021. Seventeen seabuckthorn cultivars developed by Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies were taken as research objects. Significant varietal specificity of rooting ability of green cuttings has been established. The experiments showed that season particularities just slightly affect this parameter, indicating significant homeostasis of seabuckthorn cultivars in this regard. Altaiskaya, Ognivo, Gnom, Ethna, Elizaveta and Athena varieties showed the highest level of rhizogenesis with average rooting percentage from 91.2 to 95.5 %. Group of low rooted cultivars included Azhurnaya, Aurelia, Zlata, Sudarushka and Avgustina with rooting percentage from 70.5 to 79.7 %. Other cultivars showed intermediate figures. High correlation

level (0.59 ± 0.21) was shown between total root quality and rhizogenesis ability. Cultivars which demonstrated high rooting percentage also formed high level of first grade seedlings. In this regard, the best cultivars were Altaiskaya, Gnom and Ognivo, which formed 79.1, 82.1 and 83.8 % of first-grade seedlings, respectively. Low rooting ability was observed in cultivars Avgustina, Sudarushka and Zlata, which provided only 55.4...64.4 % of first-grade planting material. The variation coefficient of seabuckthorn standard seedlings was low and did not exceed 9.7 % for Avgustina cultivar. The variation of seedlings quality was at a higher level—up to 27.3 % for cv. Sudarushka, however, for the rest of the cultivars it was low or medium and ranged from 2.7 to 18.7 %. According to the results of cluster analysis, the seabuckthorn cultivars were divided into three separate groups—slow-, medium- and fast-to-root genotypes.

Keywords: seabuckthorn, *Hippophae rhamnoides* L., green cuttings, root development, varieties specific, plant material quality

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

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance to the Plan of Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies (No. 121112900046-9).

Authors contribution. YAZ—designed the experiments; AVG, AVV—collected the data; YAZ, AVG analyzed the data; YAZ wrote the paper.

Article history: Received: 29 March 2022. Accepted: 25 April 2022

For citation: Zubarev YA, Gunin AV, Vorobjeva AV. Rooting green cuttings of Altai seabuckthorn cultivars in industrial-scale experiment. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):131–145. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-131-145

Введение

Технологические подходы к размножению облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.) начали разрабатываться параллельно с этапом активных работ по селекции культуры, датируемых серединой прошлого столетия. За это время предложены различные способы как вегетативного, так и семенного размножения, отличающиеся своими принципиальными особенностями. Базовые принципы этих технологий постоянно совершенствуются применительно к постановочным задачам, ресурсному и технологическому обеспечению. Так, семенное размножение, как чрезвычайно эффективный и малозатратный метод, широко используется для создания экологических противоэрозионных лесных массивов, а также в программах по рекультивации земель, когда получение продукции в виде плодов является второстепенной задачей. В создании высокопродуктивных промышленных плантаций сырьевого назначения этот метод размножения совершенно не пригоден в связи с существенным расщеплением в потомстве. Поэтому на первое место выходят технологии вегетативного размножения и на них сделан основной акцент в исследовательской работе во многих странах мира.

Исследовательская мысль, направленная на совершенствование уже предложенных технологий, в настоящее время сосредоточена, в основном, на поиске и изучении новых субстратов, стимуляторов корнеобразования, сроков заготовки черенков и путей снижения затрат при производстве посадочного материала.

Большой объем работ в этом направлении проводится российскими учеными. Так, красноярские исследователи подробно изучали влияние субстратов на процессы ризогенеза зеленых черенков алтайских сортов облепихи, показав, что наилучшие результаты получены на смеси торф-песок-лигнин-почва [1, 2]. Наличие значительного количества природных цеолитов в регионе предопределило испытание возможности их использования в качестве субстрата для окоренения, показав значительный эффект от его применения в комплексе с минеральными удобрениями [3]. В других исследованиях показана эффективность субстрата торф-песок-сапрпель [4], торфа [5], отработанного шампиньонного субстрата, верхового торфа и опилок [6]. В то же время, по нашим исследованиям, обычный речной песок, без добавок, обеспечивает при оптимальных условиях культивирования ризогенез на уровне 95...99 % [7].

Вопросы поиска лучших стимуляторов корнеобразования и роста также широко освещены в научной литературе [8—13]. Помимо уже упомянутых ранее исследований комплекса препаратов, теоретически способствующих улучшению ризогенеза, встречается масса материалов по оценке влияния различных субстанций на качество получаемых саженцев. В частности, алтайскими учеными изучен ряд препаратов, в т. ч. и собственных инновационных разработок, таких как Vita-Start [14], янтарной кислоты [15] и субстанций на основе карбоксиметилированных композиций [16]. Однако следует отметить, что индолил-3-масляная кислота в стандартной рекомендованной концентрации 5 мг/л, как правило, является лучшим стимулятором, обеспечивающим при соблюдении всех технологических приемов окоренение на уровне 95...99 %.

Важный аспект научных акцентов в питомниководстве облепихи связан со снижением затрат при получении продукции и повышением эффективности и доступности технологий. В отношении размножения зелеными черенками вопрос сводится к переходу от дорогостоящих культивационных сооружений, необходимых по классическим рекомендациям, к более простым конструкциям, в частности не требующим полного укрытия пленкой. В наших ранних исследованиях [17] мы показали эффективность полуоткрытых культивационных сооружений, обеспечивающих помимо высокого уровня ризогенеза, также и получение качественного посадочного материала. Еще более кардинальный подход в этом направлении был предпринят казахскими учеными, показавшими возможность выращивания саженцев из зеленых черенков облепихи без укрытия [18].

Нельзя не отметить работы, связанные с питомниководством облепихи, проводимые специалистами, представляющими страны дальнего зарубежья, в частности Индии [19—21]. Примечательно, что в ряде случаев объектами исследований являются алтайские сорта облепихи. Так, канадскими учеными глубоко изучено влияние сроков заготовки зеленых черенков на процессы ризогенеза в широком диапазоне дат. Показано, что наиболее активное развитие корней наблюдается на черенках, заготовленных в июле [22]. Результаты, полученные исследователями из Киргизии [23] и Таджикистана [24], выявили, что наибольшей способностью к окоренению обладают черенки в период усиленного роста (3 декада июня — начало

июля). Алтайскими учеными также получены схожие данные, свидетельствующие об оптимальных сроках заготовки зеленых черенков в зависимости от погодных условий в период с третьей декады июня до середины июля [25], бурятскими — с первой по вторую декады июля [26].

Из анализа большинства источников, а также на основе собственного многолетнего опыта, делаем вывод о том, что в основном вариативность результатов в экспериментах при соблюдении оптимальных технологических параметров сводится к сортовой специфичности, которую достоверно преодолеть не удалось. Фрагментарное обсуждение этого феномена было нами предпринято в предшествующем исследовании [27], где охвачен короткий промежуток времени. Кроме того, известно, что в условиях открытых культивационных сооружений, являющихся основой технологии выращивания саженцев способом зеленого черенкования в НИИ садоводства Сибири имени М.А. Лисавенко (в настоящее время — отдел «НИИ садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко» Федерального Алтайского научного центра агробιοтехнологий (НИИСС ФГБНУ ФАНЦА)), погодные условия могут оказывать очень серьезное влияние на процессы развития черенков. В связи с этим **целью исследования** является изучение сортоспецифичности корнеобразования у зеленых черенков облепихи в многолетнем производственном эксперименте в условиях полукрытых культивационных сооружений.

Материалы и методы исследования

Исследования проведены в 2018—2021 гг. в НИИСС ФГБНУ ФАНЦА в лесостепной зоне Алтайского Приобья. Объекты исследований — 17 сортов облепихи селекции НИИСС ФГБНУ ФАНЦА, размножаемые питомниками института: Огниво, Алтайская, Иня, Этна, Афина, Клавдия, Чуйская, Жемчужница, Елизавета, Августина, Эссель, Сударушка, Ажурная, Злата, Аурелия, Алей (мужской), Гном (мужской).

Погодные условия в 2018, 2019 и 2021 гг. были относительно стандартными без существенных отклонений от нормы, что позволило провести заготовку черенков в обычные сроки — с 09 по 21 июля в 2018 г., с 09 по 24 июля в 2019 г., с 06 по 15 июля в 2021 г. Аномально ранняя весна в 2020 г. обеспечила ускоренное развитие черенков, что значительно сдвинуло сроки их заготовки — на период с 24 июня по 02 июля.

Количество заготовленных черенков по каждому сорту варьировало в разные годы в широких пределах — от 600 (Ажурная) до 20000 шт. (Клавдия), в зависимости от наличия маточных растений. Общее количество черенков, посаженных для производственного опыта, составляло от 87850 шт. в 2020 г. до 176915 шт. — в 2018 г. В качестве культивационных сооружений использовали конструкции, укрытые с боков полиэтиленовой пленкой на высоту до 3 м. Общая площадь одной конструкции — 720 м² с размерами по периметру 9×80 м. Орошение — автоматизированное, мелкокапельное с интервалами полива в 5...6 с через каждые 5 мин в первые 30 дней после посадки. В дальнейшем интервалы между поливами уве-

личивали до 10...15 мин, а продолжительность полива — до 10...15 с. Субстрат для окоренения — промытый крупнозернистый речной песок, уложенный в виде гряд шириной 1,2 м слоем 8...10 см. Основание гряд представлено смесью песка и почвы слоем 15...20 см, расположенной на дренажной поверхности из керамзита. Черенки заготавливали длиной 35...40 см, после их предварительной подготовки выдерживали 15 ч в растворе индолил-3-масляной кислоты с концентрацией 50 мг/100 мл, затем высаживали в культивационные сооружения по схеме 5×7 см на глубину до 7...8 см.

Учет приживаемости и качественных характеристик посадочного материала проводили после выкопки в период с 10 по 20 октября, распределение саженцев на первый, второй сорт и нестандарт — на основании требований ГОСТ Р 53135—2008¹.

Статистическая обработка результатов осуществлялась по общепринятым методикам, описанным Б.А. Доспеховым².

Результаты исследований и обсуждение

При нормальном фоне температурных условий, складывающихся в период окоренения и развития однолетних саженцев, к моменту выкопки, который приходится на вторую декаду октября, все сорта, как правило, формируют вызревшую корневую систему. В период проведения исследований не отмечено аномально холодных лет. Более того, в 2020 г. ранняя и теплая весна обусловила удлинение вегетационного периода на 15...20 дней, что обеспечило еще большую надежность в вызревании корней. Таким образом, это не создает предпосылок для изучения сортоспецифичности данного показателя. Другое дело, что далеко не все сорта формируют одинаковую по качеству корневую систему и сама степень окореняемости черенков значительно разнится в сортовом разрезе.

За четыре года производственных испытаний шесть сортов продемонстрировали средний процент окореняемости выше 90 %, что следует считать очень высоким значением. Максимальный уровень окореняемости отмечен на сорте Алтайская. При среднем показателе 95,5 %, в один из сезонов (2020 г.) окореняемость составила 97,9 % (табл. 1).

Таблица 1

Выход стандартных однолетних саженцев облепихи, %, 2018–2021 гг.

Сорт	2018	2019	2020	2021	Средний	V, %
Чуйская (к)	85,8	—	92,0	89,9	89,2	4,1
Алтайская	90,7	97,7	97,9	95,5	95,5	5,6
Огниво	95,0	95,8	94,2	95,7	95,2	1,2
Афина	89,1	95,0	96,5	94,7	93,8	5,1

¹ ГОСТ Р 53135—2008. Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 45 с.

² Доспехов В.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Окончание табл. 1

Сорт	2018	2019	2020	2021	Средний	V, %
Елизавета	83,9	97,4	95,2	96,0	93,1	8,5
Гном	93,1	86,7	91,8	93,3	91,2	4,1
Этна	89,7	94,4	86,2	94,1	91,2	5,3
Иня	90,3	92,6	76,5	92,2	87,9	8,9
Клавдия	88,9	90,1	84,5	84,5	87,0	3,7
Жемчужница	85,5	86,1	86,8	84,5	85,7	1,2
Алей	80,6	81,5	87,9	89,5	84,8	5,4
Эссель	75,2	85,3	81,8	89,6	83,0	7,1
Сударушка	73,8	83,3	72,3	89,7	79,7	9,6
Злата	–	85,1	66,9	72,6	74,9	8,7
Ажурная	68,4	70,3	67,4	80,7	71,7	6,9
Августина	76,5	67,4	60,4	79,9	71,1	9,7
Аурелия	–	78,3	67,2	65,8	70,5	6,3
Итого	84,4	86,7	82,7	87,5	85,7	–
НСР₀₅	A* – 5,5, B – F_t < F_t					

*Примечание: фактор А – сорт, фактор В – год.

Table 1

Amount of standard one-year plants of seabuckthorn,%, 2018–2021

Cultivar	2018	2019	2020	2021	Mean	V, %
Chuiszkaya (st)	85.8	–	92.0	89.9	89.2	4.1
Altaiskaya	90.7	97.7	97.9	95.5	95.5	5.6
Ognivo	95.0	95.8	94.2	95.7	95.2	1.2
Afina	89.1	95.0	96.5	94.7	93.8	5.1
Elizaveta	83.9	97.4	95.2	96.0	93.1	8.5
Gnom	93.1	86.7	91.8	93.3	91.2	4.1
Ethna	89.7	94.4	86.2	94.1	91.2	5.3
Inja	90.3	92.6	76.5	92.2	87.9	8.9
Klavdia	88.9	90.1	84.5	84.5	87.0	3.7
Zhemchuzhnitsa	85.5	86.1	86.8	84.5	85.7	1.2
Aley	80.6	81.5	87.9	89.5	84.8	5.4
Essel	75.2	85.3	81.8	89.6	83.0	7.1
Sudarushka	73.8	83.3	72.3	89.7	79.7	9.6
Zlata	–	85.1	66.9	72.6	74.9	8.7
Azhurnaya	68.4	70.3	67.4	80.7	71.7	6.9
Avgustina	76.5	67.4	60.4	79.9	71.1	9.7
Aurelia	–	78.3	67.2	65.8	70.5	6.3
Total	84.4	86.7	82.7	87.5	85.7	–
LSD₀₅	A* – 5.5, B – F_t < F_t					

*Note: factor A – cultivar, factor B – year.

Также очень высокой окореняемостью характеризуется сорт Огниво, показавший сопоставимые с сортом Алтайская значения на уровне 95,2 %. При этом коэффициент вариации у сорта Огниво — один из самых низких (1,2 %), что говорит о стабильно высокой способности сорта к окоренению. Также в группу хорошо окореняющихся вошли сорта Афина, Елизавета, Гном и Этна. Сорт Елизавета в этом ряду показывает наиболее неустойчивые показатели, варьируя в широком диапазоне значений от 83,9 до 97,4 %. Это говорит о низкой толерантности сорта к условиям культивирования и предполагает более тщательный подход к обеспечению оптимальных технологических критериев.

Окореняемость менее 80 % отмечена на пяти сортах — Сударушка, Злата, Ажурная, Августина и Аурелия. Самый низкий процент показал сорт Августина в 2020 г. (60,4 %), именно в тот же год, когда сорт Алтайская продемонстрировал самый высокий уровень окореняемости. Объективно говоря, в среднем по сортам, 2020 г. оказался наименее результативным, когда был установлен самый низкий процент окореняемости — 82,7 %. Однако данная тенденция просматривается далеко не по всем объектам, что, по сути, для производственного эксперимента вполне объяснимо. Факторов, влияющих на ризогенез и дальнейшее развитие черенков очень много, и их вариативность в годы исследований, весьма разнообразна. В частности, очень важным этапом являются первые дни после посадки черенков на окоренение, когда жаркая и ветреная погода может оказать существенное негативное влияние на начальную адаптацию растений и не позволить сформировать нормальную корневую систему. Исходя из того что производственный эксперимент с таким объемом материала невозможно заложить в один день, влияние этого фактора никак нельзя нивелировать. Таких особенностей в подобного рода экспериментах встречается достаточно много, поэтому важнейшим показателем, на наш взгляд, является именно низкая вариативность, характеризующая устойчивость сорта к нестабильным факторам окружающей среды.

Среди изученных сортов минимальным уровнем отклонения от средней характеризовались два сорта — Огниво и Жемчужница ($V = 1,2\%$), максимальным — Августина и Сударушка — 9,7 и 9,6 % соответственно. Важно отметить, что в принципе, коэффициент вариации по всем изучаемым сортам невысокий и не превышает 10 %, что говорит об определенном гомеостазе генома, с точки зрения реакции его на технологические и климатические особенности. Другими словами, маловероятно, что каким-то образом можно добиться очевидного повышения уровня ризогенеза у сортов, генетика которых изначально не позволяет формировать хорошую корневую систему. Многочисленные наши исследования, направленные на оптимизацию ризогенеза зеленых черенков облепихи, наглядно подтверждают эту гипотезу.

Как уже отмечалось ранее, помимо сортовых различий в общей окореняемости, существует заметное различие и в качестве формируемой корневой системы. Интересным и в то же время закономерным фактом оказалась относительно высокая корреляционная зависимость между общей окореняемостью и процентом выхода первого сорта ($0,59 \pm 0,21$). Другими словами, чем лучше происходит общее окоренение, тем лучше в итоге формируется качество посадочного материала.

В среднем за годы исследований высокое качество саженцев отмечено на сортах Огниво, Гном и Алтайская: доля первого сорта — 83,8, 82,1 и 79,1 % соответственно (табл. 2). Сорт Августина оказался самым слабым, обеспечив в среднем выход первого сорта на уровне 55,4 %.

Таблица 2

**Выход однолетних саженцев облепихи первого сорта,
% от окоренившихся, 2018–2021 гг.**

Сорт	2018	2019	2020	2021	Средний	V, %
Чуйская (к)	71,7	–	52,5	54,2	59,2	9,2
Алтайская	70,6	86,0	72,1	87,2	79,1	10,9
Огниво	85,8	85,8	83,2	80,6	83,8	2,7
Афина	71,3	81,0	79,0	71,2	75,7	7,3
Елизавета	56,5	89,2	77,2	77,9	75,8	18,1
Гном	88,0	79,4	83,7	77,5	82,1	6,4
Этна	61,6	86,2	70,8	73,6	73,2	12,9
Иня	68,4	65,9	54,9	67,1	64,5	11,6
Клавдия	63,4	67,8	68,8	75,0	68,6	3,6
Жемчужница	76,8	73,6	67,1	72,4	72,5	3,7
Алей	77,3	73,1	76,8	83,5	77,7	7,5
Эссель	56,9	70,3	63,1	69,1	65,2	10,6
Сударушка	33,2	65,2	49,4	76,4	57,4	27,3
Злата	–	71,4	49,0	70,1	64,4	18,7
Ажурная	57,3	61,5	66,2	79,1	66,5	14,5
Августина	54,9	67,4	41,6	56,3	55,4	15,1
Аурелия	–	77,0	53,3	76,1	69,2	16,0
Среднее	67,9	75,7	66,6	73,5	70,6	17,5
Пределы варьирования	33,2...88,0	61,5...89,2	41,6...83,7	54,2...87,2	55,4...83,8	–
НСР ₀₅	$A^* - 7,2, B - F_t < F_t$					

*Примечание: фактор А – сорт, фактор В – год

Table 2

Amount of seabuckthorn first grade plant material, % from rooted, 2018–2021

Cultivar	2018	2019	2020	2021	Mean	V, %
Chuiskaya (st)	71.7	–	52.5	54.2	59.2	9.2
Altaiskaya	70.6	86.0	72.1	87.2	79.1	10.9
Ognivo	85.8	85.8	83.2	80.6	83.8	2.7

Ending of Table 2

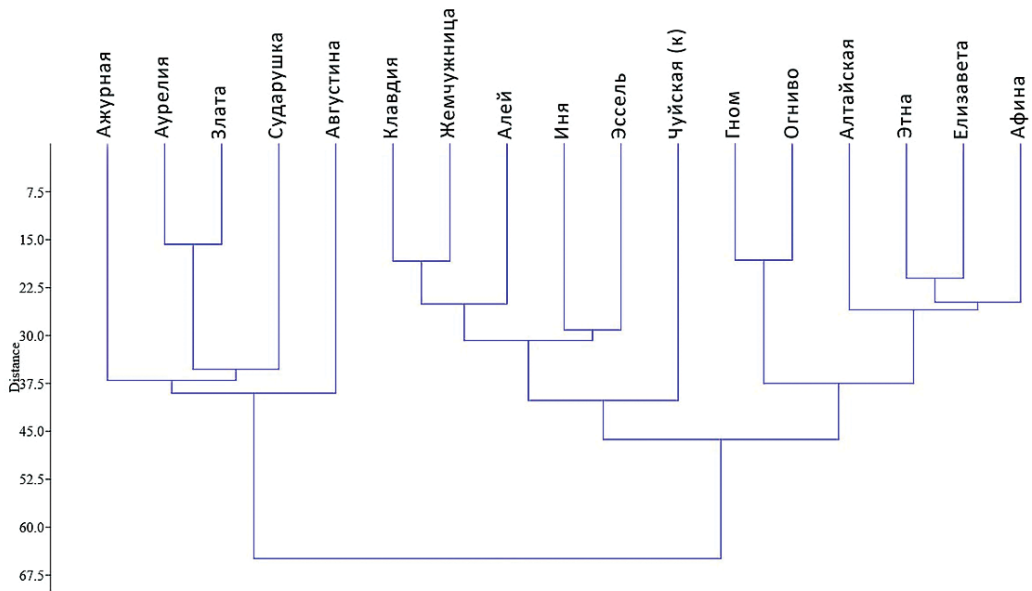
Cultivar	2018	2019	2020	2021	Mean	V, %
Afina	71.3	81.0	79.0	71.2	75.7	7.3
Elizaveta	56.5	89.2	77.2	77.9	75.8	18.1
Gnom	88.0	79.4	83.7	77.5	82.1	6.4
Ethna	61.6	86.2	70.8	73.6	73.2	12.9
Inja	68.4	65.9	54.9	67.1	64.5	11.6
Klavdia	63.4	67.8	68.8	75.0	68.6	3.6
Zhemchuzhnitsa	76.8	73.6	67.1	72.4	72.5	3.7
Aley	77.3	73.1	76.8	83.5	77.7	7.5
Essel	56.9	70.3	63.1	69.1	65.2	10.6
Sudaruszka	33.2	65.2	49.4	76.4	57.4	27.3
Zlata	—	71.4	49.0	70.1	64.4	18.7
Azhurnaya	57.3	61.5	66.2	79.1	66.5	14.5
Avgustina	54.9	67.4	41.6	56.3	55.4	15.1
Aurelia	—	77.0	53.3	76.1	69.2	16.0
Mean	67.9	75.7	66.6	73.5	70.6	17.5
Range	33.2...88.0	61.5...89.2	41.6... 83.7	54.2...87.2	55.4...83.8	—
LSD ₀₅	A* – 7.2, B – $F_t < F_t$					

*Note: factor A – cultivar, factor B – year

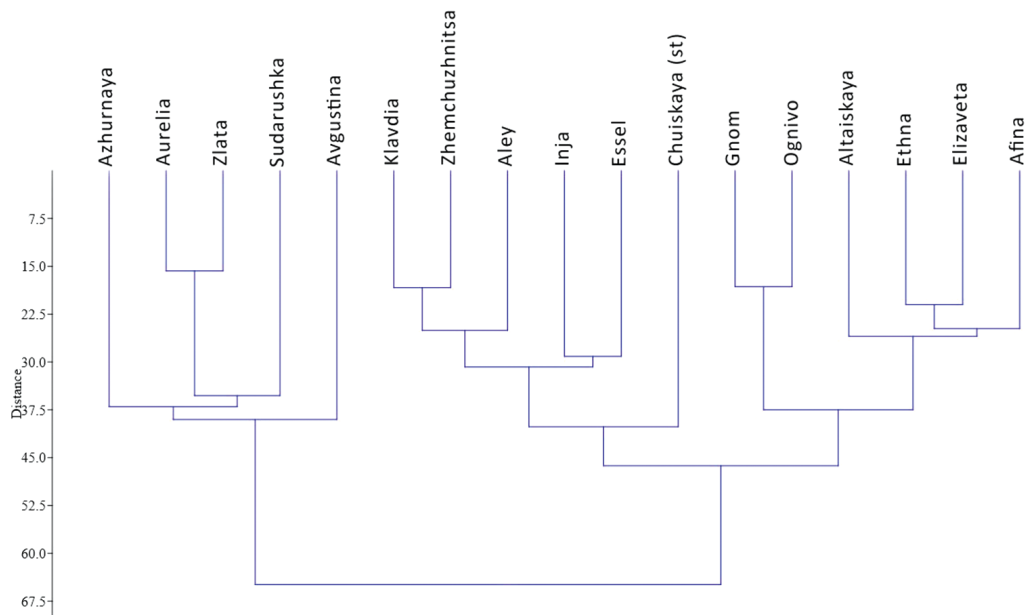
Вариативность данного признака по годам у большинства сортов не высокая — от 2,7 % у сорта Огниво до 27,3 % у сорта Сударушка. Достоверного влияния фактора года на выход саженцев первого сорта не установлено ($F_t < F_t$). В среднем по годам этот показатель изменялся от 66,6 % в 2020 г. до 75,7 % в 2019 г. Это очередной раз говорит об имеющейся сортовой специфичности в вопросе окоренения зеленых черенков. Исходя из этой предпосылки, мы провели кластерный анализ и построили дендрограмму распределения сортов по способности зеленых черенков к окоренению (рис.).

На дендрограмме отчетливо выделяются две большие группы. В первую группу входят сорта Ажурная, Аурелия, Злата, Сударушка, Августина, характеризующиеся слабой способностью к окоренению. Вторая группа делится, в свою очередь, на две подгруппы — средне- и хорошо окореняющиеся сорта. К последним относятся Гном, Огниво, Алтайская, Этна, Елизавета, Афина.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что степень корнеобразования у зеленых черенков облепихи в полукрытых культивационных сооружениях в значительной степени определяется генетическими особенностями сортов и не сильно зависит от климатических условий года.



Дендрограмма кластерного анализа распределения сортов по способности зеленых черенков к окоренению



Cluster analysis dendrogram of cultivar distribution depending on rooting ability of green cuttings

Выводы

1. В результате многолетнего производственного эксперимента в полуоткрытых культивационных сооружениях установлена достоверная сортовая специфичность облепихи по способности к ризогенезу зеленых черенков. Максимальный уровень корнеобразования отмечен на сортах Алтайская и Огниво, минимальный — на сортах Августина, Ажурная и Аурелия.

2. Качественные характеристики корневой системы положительно коррелируют со способностью к ризогенезу. Сорта, показавшие лучшие результаты по проценту окоренения, формировали также и более качественную корневую систему.

3. Не установлено достоверного влияния фактора года на процессы ризогенеза зеленых черенков облепихи, что говорит о значительной гомеостатичности генома облепихи в этом отношении.

4. На основе кластерного анализа результатов исследований предложена дендрограмма распределения сортов по способности зеленых черенков облепихи к окоренению. В группу хорошо окореняющихся вошли сорта Гном, Огниво, Алтайская, Этна, Елизавета, Афина; в группу плохо окореняющихся — сорта Ажурная, Аурелия, Злата, Сударушка, Августина.

Библиографический список

1. Мистратова Н.А. Роль субстратов и регуляторов роста в формировании качества посадочного материала облепихи // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2014. № 28(04). С. 66—73.
2. Мистратова Н.А. Выход товарных саженцев облепихи в зависимости от применяемых субстратов и стимуляторов корнеобразования // Вестник КрасГАУ. 2008. № 4. С. 312—315.
3. Vopn V.L. The peculiarities of sea-buckthorn propagation with green cuttings // Mongolian Journal of Agricultural Sciences. 2018. Vol. 24. № 2. P. 33—35. doi: 10.5564/mjas.v24i02.1115
4. Vopn V.L., Fomina N.V. Optimization of the conditions of rhizogenesis and assessment of the enzymatic activity of the substrates used for rooting of cuttings of berry shrubs in Siberia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. P. 052009. doi: 10.1088/1755-1315/548/5/052009
5. Бедарева Н.П. Интенсивный метод размножения облепихи и жимолости в условиях Восточного Казахстана // Наука и мир. 2017. Т. 1. № 9-49. С. 34—36.
6. Скалий Л.П. Эффективность применения отработанного шампиньонного субстрата и опилок в искусственных смесях при укоренении зеленых черенков садовых культур // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2005. № 3. С. 48—58.
7. Zubarev Y.A., Shmatova T.M. Improvement of Seabuckthorn Propagation Technology at Altai // Seabuckthorn. Research for a promising crop: A look at recent developments in cultivation, breeding, technology, health and environment / ed. by Yu. Zubarev, D. Eagle, J.-T. Morsel. Berlin: Books on Demand, 2014. P. 9—23.
8. Ловцова Н.М., Намзалов Б.Б. Влияние фитогормонов на укоренение разнополюх зеленых черенков облепихи // Естественные и технические науки. 2020. № 5(143). С. 39—40. doi: 10.25633/ETN.2020.05.06
9. Васильева Н.А., Будажапов Л.В. Ризогенез зеленых черенков облепихи бурятских сортов в условиях искусственного тумана // Научное обеспечение развития АПК и сельских территорий Байкальского региона: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвященной Дню Российской науки, г. Улан-Удэ, 5—9 февраля 2018 г. Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2018. С. 28—31.
10. Султанова З.К., Харламова Т.А., Сотникова В.В. Использование регуляторов роста при размножении плодовых и ягодных культур // Плодоводство и ягодоводство России. 2004. Т. 11. С. 225—229.
11. Цэрэнтогтох Н., Шинэ-Од Ю. Влияние стимуляторов на корнеобразование зеленых черенков облепихи // Инновационные аспекты агрономии в повышении продуктивности растений и качества продукции в Сибири: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., приуроченной 100-летию заслуженного деятеля науки Бурятской АССР, профессора Николая Васильевича Барнакова, г. Улан-Удэ, 04 декабря 2015 г. Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2015. С. 122—123.

12. Аладина О.Н. Оптимизация технологии зеленого черенкования садовых растений // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 5—22.
13. Куприна М.Н., Колесникова В.Л. Использование стимуляторов роста на основе торфа в ягодном питомнике // Вестник КрасГАУ. 2014. № 7(94). С. 85—91.
14. Шаманская Л.Д., Зубарева Е.Н. Результаты испытания нового препарата Vita-старт при выращивании саженцев облепихи // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 3. С. 19—21.
15. Гущина Е.Н., Шаманская Л.Д. Использование янтарной кислоты в качестве стимулятора роста при выращивании саженцев облепихи // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 7. С. 12—14.
16. Пугач В.А., Зубарев Ю.А., Пугач Д.А., Мальцев М.И. Эффект использования натриевых солей карбоксиметилированных эфиров в зеленом черенковании облепихи // Инновационные направления развития сибирского садоводства: наследие академиков М.А. Лисавенко, И.П. Калининой: сборник статей / ФГБНУ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий. Барнаул: Концепт, 2018. С. 216—221.
17. Зубарев Ю.А., Шматова Т.М. Особенности роста зеленых черенков облепихи при различных условиях культивирования // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 7. С. 42—44.
18. Бессчетнов В.П., Кентбаев Е.Ж. Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях юго-востока Казахстана // Лесной журнал. 2018. № 4. С. 56—62. doi: 10.17238/issn0536-1036.2018.4.56
19. Dolkar P., Angmo P., Dolkar D., Kumar B., Chaurasia O., Stobdan T. Effect of Mulching, Shading, Spacing and Cutting Thickness on Propagation of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by Cuttings // Defence Life Science Journal. 2017. Vol. 3. № 1. P. 75—79. doi: 10.14429/dlsj.3.12093
20. Dolkar P., Dolkar D., Angmo S., Srivastava R., Stobdan T. An Improved Method for Propagation of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by Cuttings // National Academy Science Letters. 2016. № 39. P. 323—326. doi: 10.1007/s40009-016-0489-2
21. Singh V., Gupta R. Propagation of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). Seabuckthorn (*Hippophae* L.): A multipurpose Wonder Plant. Vol. 1: Botany, harvesting and processing technologies / ed. by Singh V., Kallio H.P., Sawhney R.C., Gupta R.K., RongSen L., Eliseev. I.P., et. al. New Delhi: Indus Publishing Company, 2003. P. 315—333.
22. Dale A.G., Gali D. Repetitive vegetative propagation of first-year sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cuttings // Canadian Journal of Plant Science. 2018. Vol. 98. P. 609—615. doi: 10.1139/cjps-2017-0039
23. Кулиев А.С. Размножения облепихи зелеными черенками в условиях ботанического сада Национальной Академии наук Кыргызской республики // Известия ВУЗов (Кыргызстан). 2014. № 3. С. 75—76.
24. Мусоев С.М., Мамадаёзов Х.А., Юсуфбекова М. Влияние различных сроков посадки на укореняемость зеленых черенков облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в туманообразующей установке // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. 2007. № 1. С. 39—44.
25. Зубарев Ю.А., Шматова Т.М. Влияние сроков посадки зеленых черенков облепихи на качество посадочного материала в условиях частичного пленочного укрытия // Аграрная наука — сельскохозяйственному производству Монголии, Сибирского региона, Казахстана и Болгарии: сб. науч. докладов XVI Междунар. науч.-практ. конф., г. Улаанбаатар, 29—30 мая 2013 г. Новосибирск: Монгольская академия аграрных наук; СО Россельхозакадемии, 2013. Ч. 3. С. 72—73.
26. Цыбикова О.М., Гусева Н.К., Банданова А.В. Размножение ягодных и декоративных культур зелеными черенками на базе ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА» // Актуальные вопросы развития аграрного сектора байкальского региона: мат.-ы науч.-практ. конф., посвященной Дню Российской науки, г. Улан-Удэ, 6—8 февраля 2019 г. Улан-Удэ: Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Р. Филиппова, 2019. С. 71—75.
27. Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В. Сортовые особенности окоренения зеленых черенков облепихи в условиях полузакрытых культивационных сооружений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 1(171). С. 27—31.

References

1. Mistratova NA. The role of substrators and growth regulators in the formation of quality of the seabuckthorn landing material. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2014;28(4):66—73. (In Russ).
2. Mistratova NA. The amount of high quality seabuckthorn seedlings depending on substrates and root development stimulators. *Bulletin of KrasSAU*. 2008; (4):312—315. (In Russ).

3. Bopp VL. The peculiarities of sea-buckthorn propagation with green cuttings. *Mongolian Journal of Agricultural Sciences*. 2018;24(2):33–35. doi: 10.5564/mjas.v24i02.1115
4. Bopp VL, Fomina NV. Optimization of the conditions of rhizogenesis and assessment of the enzymatic activity of the substrates used for rooting of cuttings of berry shrubs in Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 548:052009. doi: 10.1088/1755-1315/548/5/052009
5. Bedareva NP. The intensive method of sea buckthorn and honeysuckle reproduction under the conditions of Eastern Kazakhstan. *Science and world*. 2017;(9—1):34—36. (In Russ).
6. Skali LP. Efficiency of the spent champignon substrate and sawdust in artificial mixtures for green cuttings rooting of horticultural crops. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2005;(3):48—58. (In Russ).
7. Zubarev YA, Shmatova TM. Improvement of seabuckthorn propagation technology at Altai. In: Zubarev Y, Eagle D, Morsel JT. (eds). *Seabuckthorn. Research for a promising crop: A look at recent developments in cultivation, breeding, technology, health and environment*. Berlin: Books on Demand; 2014. p.9—23.
8. Lovtsova NM, Namzalov BB. Influence of phytohormones on rooting of different-sex green sea buckthorn cuttings. *Natural and technical sciences*. 2020;(5):39—40. (In Russ). doi: 10.25633/ETN.2020.05.06
9. Vasiljeva N, Budazhapov L. The rhizogenesis of green cuttings of buryat sea buckthorn varieties in the conditions of artificial fog. In: *Nauchnoe obespechenie razvitiya APK i sel'skikh territorii Baikalskogo regiona* [Scientific assistance of agro-industrial complex and rural areas development of the Baikal region: proceedings]. Ulan-Ude: Buryatskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya imeni V.R. Filippova publ.; 2018. p. 28—31. (In Russ).
10. Sultanova ZK, Kharlamova TA, Sotnikova VV. Growth regulators utilization in fruit and berry crops propagation. *Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2004;(11):225—229. (In Russ).
11. Tserentogtokh N, Shine-Od U. Influence of stimulators on rooting of the sea buckthorn softwood cuttings. In: *Innovatsionnye aspekty agronomii v povyshenii produktivnosti rastenii i kachestva produktsii v Sibiri* [Innovative aspects of agronomy in plant productivity and product quality increasing in Siberia: conference proceedings]. Ulan-Ude: Buryatskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya imeni V.R. Filippova publ.; 2015. p. 122—123. (In Russ).
12. Adalina ON. Optimization of propagation technology of garden plants by herbaceous cuttings. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013;(4):5—22. (In Russ).
13. Kuprina MN, Kolesnikova VL. The use of the peat-based growth stimulants in the berry nursery. *Bulletin of KrasSAU*. 2014;7(94):85—91. (In Russ).
14. Shamanskaya LD, Zubareva EN. The results of Vita-start testing as new supplement in seabuckthorn propagation. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2012;(3):19—21. (In Russ).
15. Shamanskaya LD, Guschina EN. The results of succinic acid testing at seabuckthorn seedlings growing. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2009;(7):12—14. (In Russ).
16. Pugach VA, Zubarev YA, Pugach DA, Maltsev MI. The effect of sodium salts of carboxymethyl ethers in green cuttings of seabuckthorn. In: *Innovatsionnye napravleniya razvitiya sibirskogo sadovodstva: nasledie akademikov M.A. Lisavenko, I.P. Kalininoi: sbornik statei* [Innovative trends of Siberian horticulture development: Academicians M.A. Lisavenko, I.P. Kalinina legacy: conference proceedings]. Barnaul: Kontsept publ.; 2018. p. 216—221. (In Russ).
17. Zubarev YA, Shmatova TM. The characteristics of seabuckthorn green cuttings growing at different ways of cultivation. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2013;(7):42—44. (In Russ).
18. Besschetnov VP, Kentbaev EZ. Propagation of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by herbaceous cuttings in a climate of south-east Kazakhstan. *Russian Forestry Journal*. 2018;(4):56—62. (In Russ). doi: 10.17238/issn0536—1036.2018.4.56
19. Dolkar P, Angmo P, Dolkar D, Kumar B, Chaurasia O, Stobdan T. Effect of Mulching, Shading, Spacing and Cutting Thickness on Propagation of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by Cuttings. *Defence Life Science Journal*. 2017;3(1): 75—79. doi: 10.14429/dlsj.3.12093
20. Dolkar P, Dolkar D, Angmo S, Srivastava R, Stobdan T. An improved method for propagation of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by cuttings. *National Academy Science Letters*. 2016;(39):323—326. doi: 10.1007/s40009-016-0489-2
21. Singh V, Gupta R. Propagation of Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.). In: Singh V, Kallio HP, Sawhney RC, Gupta RK, RongSen L, Eliseev IP, et. al. (eds). *Seabuckthorn (Hippophae L.): A multipurpose Wonder Plant. Vol. 1: Botany, harvesting and processing technologies*. New Delhi: Indus Publishing Company; 2003. p.315—333.
22. Dale AG, Gali D. Repetitive vegetative propagation of first-year sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cuttings. *Canadian Journal of Plant Science*. 2018;(98):609—615. doi: 10.1139/cjps-2017-0039

23. Guliev AS. Breeding of seabuckthorn green cuttings in conditions of the botanical garden of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana*. 2014;(3):75–76. (In Russ).

24. Musoev SM, Mamadayozov KA, Usufbekova M. Influence of different cutting planting period on implanting green graft of *Hippophae rhamnoides* L. in the West of Pamir. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of Biological and Medical Sciences*. 2007;(1):39–44. (In Russ).

25. Zubarev YA, Shmatova TM. Influence of seabuckthorn green cuttings planting period on quality of plant material in conditions of partial film cover. In: *Agrarnaya nauka — sel'skokhozyaistvennomu proizvodstvu Mongolii, Sibirskogo regiona, Kazakhstana i Bolgarii: Sbornik nauchnykh dokladov*. [Agrarian science — to agricultural industry of Mongolia, Siberian Region, Kazakhstan and Bulgaria: conference proceedings]. Novosibirsk: Mongol'skaya akademiya agrarnykh nauk; 2013. p.72–73. (In Russ).

26. Tsybikova O, Guseva N, Bandanova A. Reproduction of berry and decorative cultures by green cuttings on the base of The Buryat State Academy of Agriculture. In: *Aktual'nye voprosy razvitiya agrarnogo sektora baikal'skogo regiona* [Actual issues of agricultural sector development of the Baikal region: conference proceedings]. Ulan-Ude: Buryatskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya imeni V.R. Filippova publ.; 2019. p.71–75. (In Russ).

27. Zubarev YA, Gunin AV, Vorobjeva AV. The features of root development of green cuttings of different sea-buckthorn varieties in semi-covered greenhouses. *Bulletin of Altai state agricultural university*. 2019; (171):27–31. (In Russ).

Об авторах:

Зубарев Юрий Анатольевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции плодовых и ягодных культур, отдел «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко», Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Российская Федерация, 656910, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: niilisavenko@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3349-0555, SPIN-код: 9216-7453

Гунин Алексей Васильевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции плодовых и ягодных культур, отдел «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко», Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Российская Федерация, 656910, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: alexeygunin@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-8008-8951, SPIN-код: 3163-5470

Воробьева Анастасия Васильевна — младший научный сотрудник лаборатории селекции плодовых и ягодных культур, отдел «Научно-исследовательский институт садоводства Сибири им. М.А. Лисавенко», Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Российская Федерация, 656910, г. Барнаул, Научный городок, д. 35; e-mail: nast.nv-2124@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1020-0589, SPIN-код: 8477-7715.

About authors:

Zubarev Yuri Anatolyevich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Fruit and Berry Crop Selection, Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, 35 Nauchniy Gorodok, Barnaul, 656910, Russian Federation; e-mail: niilisavenko@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3349-0555, SPIN-code: 9216-7453

Gunin Alexey Vasilievich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Fruit and Berry Crop Selection, Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, 35 Nauchniy Gorodok, Barnaul, 656910, Russian Federation; e-mail: alexeygunin@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-8008-8951, SPIN-code: 3163-5470

Vorobjeva Anastasia Vasilievna — Junior Researcher, Laboratory of Fruit and Berry Crop Selection, Lisavenko Research Institute of Horticulture for Siberia, Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies, 35 Nauchniy Gorodok, Barnaul, 656910, Russian Federation; e-mail: nast.nv-2124@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-1020-0589, SPIN-code: 8477-7715

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-2-146-157
УДК 551. 501 (470.64)*Научная статья / Research article*

Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур средствами искусственных нейронных сетей

Р.М. Бисчоков Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
им. В.М. Кокова, г. Нальчик, Российская Федерация
✉ rusbis@mail.ru

Аннотация. Сделана попытка выбора конфигураций, обучения и тестирования искусственных нейронных сетей (ИНС) для прогнозирования урожайности зерновых культур с учетом динамики изменения климатических характеристик. Особенности аграрного производства требуют постоянного совершенствования методов анализа урожайности сельскохозяйственных культур и временных рядов, многолетних природно-климатических характеристик. Предварительное статистическое оценивание рассмотренных временных рядов позволило выявить определенные закономерности. Временные ряды разбиваются на четыре интервала: для построения сети, ее обучения, тестирования и контроля. В ходе построения ИНС воспользовались тремя моделями: MLP—многослойный перцептрон, RBF—радиальные базисные функции и GRNN—обобщенно-регрессионная нейронная сеть. По результатам построения выбрана наилучшая модель. На входе ИНС использовалась сумма активных температур воздуха и сумма осадков за период вегетации, а на выходе—урожайность сельскохозяйственной культуры. Применение совокупностей нейронных систем, автоматизировано генерируемых, способствовало эффективному прогнозированию урожайности зерновых культур на основе анализа климатических данных. В итоге по отобранной модели ИНС проводился прогноз урожайности на предстоящие годы с учетом природно-климатических характеристик.

Ключевые слова: математическое моделирование, анализ природно-климатических характеристик, прогноз урожайности, статистическое оценивание, искусственные нейронные сети, обучение сети

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

История статьи: поступила в редакцию 24 ноября 2020 г., принята к публикации 5 марта 2022 г.

© Бисчоков Р.М., 2022

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

Для цитирования: Бисчоков Р.М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур средствами искусственных нейронных сетей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 146—157. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-146-157

Analysis, modelling and forecasting of crop yields using artificial neural networks

Ruslan M. Bischokov 

Kabardino-Balkarian State Agrarian University, *Nalchik, Russian Federation*

✉ rusbis@mail.ru

Abstract. The article gives information about the attempt made to select configurations, train and test artificial neural networks for predicting yields of grain crops considering of climate changes. Peculiarities of agricultural production require constant improvement of methods for analyzing crop yields, time series, and long-term climatic characteristics. Preliminary statistical evaluation of the considered time series made it possible to identify certain patterns. Time series were divided into four intervals: for building a network, its training, testing and control. During the construction of artificial neural networks, three models were used: MLP—multilayer perceptron, RBF—radial basis functions and GRNN—generalized regression neural network. Based on the results of the construction, the best model was chosen. The sum of active air temperatures and the sum of precipitation for the growing season was used for artificial neural networks at the input, and the crop yield was used at the output. The use of sets of neural systems, generated automatically, contributed to the effective forecasting of crop yields based on the analysis of climate data. As a result, according to the selected model, a yield forecast was made for the coming years considering climatic characteristics.

Keywords: mathematical modeling, analysis of climate characteristics, yield forecast, statistical estimation, artificial neural networks, network training

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

Article history: Received: 24 November 2020. Accepted: 5 March 2022

For citation: Bischokov RM. Analysis, modelling and forecasting of crop yields using artificial neural networks. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):146—157. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-146-157

Введение

Использование инструментария искусственных нейронных сетей (ИНС) в методах моделирования прогнозирования и управления аграрной сферы обусловлено результативностью, адаптируемостью и эффективностью [1, 2].

Для планирования и принятия инвестиционных решений в аграрном производстве важной предпосылкой является моделирование процессов с целью на-

дежного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с учетом природно-климатических факторов [3, 4].

В обеспечении продовольственной безопасности страны особую роль играет урожайность зерновых культур, поэтому изучение их особенностей всегда актуально.

В период вегетации на культуру оказывает влияние множество факторов: качество и сорт семян, почвенные характеристики, климатические условия, количество внесенных удобрений и другие агротехнические мероприятия. Одни из этих факторов оказывают больше влияния, а другие меньше при формировании урожая. Риски снижения урожайности сельскохозяйственных культур обуславливаются неблагоприятными почвенно-климатическими и погодными условиями [3, 4].

Проведение агротехнических мероприятий с учетом климатических условий — один из основных факторов получения хорошего урожая.

Во многих исследованиях урожайности сельскохозяйственных культур основным фактором принимается гидротермический коэффициент (ГТК), который является интегральным индикатором возделывания растений. Выявлено, что к неблагоприятным по погодным условиям для возделывания озимой пшеницы относятся годы с $ГТК < 1$, к благоприятным — при значениях от 1 до 1,4, к особо благоприятным — при $ГТК > 1,4$ [5—8].

Многие отечественные и зарубежные ученые (Е. Бочаров, А. Ильченко, Л. Кальянов, А. Гагарин, И. Егорова, О. Солдатова, С. Хайкин, Я. Потмешил, Х. Уайт и др.) считают, что математическое моделирование на основе ИНС позволяет решать частично-структурированные задачи, например прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с учетом динамики изменения климатических характеристик [9—12].

В предшествующих публикациях проведены статистические оценивания временных климатических рядов и урожайности сельскохозяйственных культур. Применение совокупностей нейронных систем для прогнозирования урожайности зерновых культур на основе анализа климатических данных является новшеством [13—15].

Цель исследования — выбор конфигураций, обучение и тестирование ИНС для прогнозирования урожайности зерновых культур с учетом динамики изменения климатических характеристик на территории Кабардино-Балкарской Республики. Прогнозирование урожайности обеспечивает принятие правильных решений при планировании посевных площадей и культур на следующий сельскохозяйственный год. К примеру, для снижения риска потери урожая сельскохозяйственных культур из-за аномальных погодных процессов (град, наводнения, ливневые дожди и т. д.) можно использовать культуры с коротким сроком вегетации, чтобы осуществить уборку до катаклизма или посев после него [13—15].

Материалы и методы исследования

В качестве материалов исследований использованы климатические характеристики (сумма активной температуры воздуха и количества осадков на период вегетации) и урожайности зерновых культур за 49 лет. Для построения, обучения,

тестирования и контроля ИНС использована программа STATISTICA, модуль NEURAL NETWORKS.

В качестве входных данных использовали климатические характеристики: сумму активных температур воздуха и суммарное количество осадков за вегетационный период, на выходе получали данные по урожайности сельскохозяйственных культур [13—15]. Для каждой сельскохозяйственной культуры активная температура различная. Приведем в табл. 1 диапазоны возможных минимальных температур воздуха для различных культур в период вегетации.

Таблица 1

Минимальная температура воздуха фаз развития культур

Культура	Периоды вегетации			
	Прорастание семян	Появление всходов	Вегетационный рост	Репродукция
Рис	12...15	14...15	15	—
Просо	8...10	—	10...12	16...19
Кукуруза	9...10	10...12	—	16
Лен	3...4	6	8	15...17
Озимая пшеница	1...4	4...6	5	5
Ячмень	1...2	8...10	5	—
Овес	1...2	4...5	5	—

Table 1

Minimum air temperature for crop development

Crop	Growth stages			
	Germination	Seedling emergence	Vegetative growth	Reproductive growth
Rice	12...15	14...15	15	—
Millet	8...10	—	10...12	16...19
Corn	9...10	10...12	—	16
Flax	3...4	6	8	15...17
Winter wheat	1...4	4...6	5	5
Barley	1...2	8...10	5	—
Oat	1...2	4...5	5	—

Строились искусственные нейронные сети по исходным данным первых 31 лет. В программе доступны 5 моделей построения ИНС: Linear (линейная), PNN or GRNN (обобщенно-регрессионная нейронная), Radial basis function (RBF — радиальные базисные функции), Three layer perceptron (трехслойный перцептрон) и Four layer perceptron (четырёхслойный перцептрон), MLP (многослойный перцептрон). Можно

выбрать одну из них или несколько. Программа привела в качестве результатов расчета в табличной форме 35 комбинаций ИНС по всем трем моделям, описывающих аналог фактических данных первых 21 лет. Следующим шагом по данным 10 лет проводилось обучение построенных нейронных сетей.

Для дальнейшей отладки (тестирование и контроль) программа отобрала 5 наиболее оптимальных сетей. Затем по данным следующих 9 лет проводилось тестирование и по данным последних 9 лет осуществлялся контроль выбранных сетей. Результатом процессов был выбор одной нейронной сети, по которой проводится прогнозирование урожайности на предстоящие годы. Эту сеть можно сохранить и для дальнейших использований.

Отбор 5 оптимальных сетей и результатной сети можно проводить вручную путем сравнения исходных и расчетных данных урожайности зерновых культур [13—15].

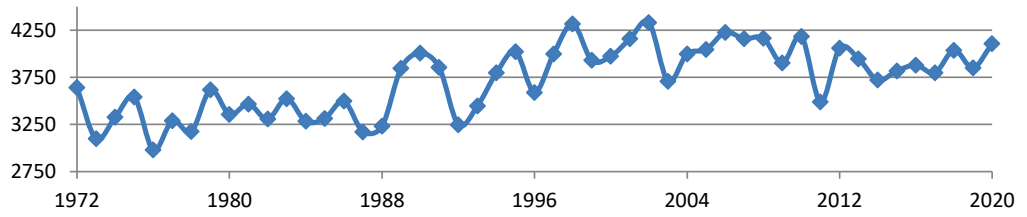
Результаты исследования и обсуждение

Исследование проведено по следующей схеме: 1. Выбраны объекты исследования — показатели урожайности озимой пшеницы и кукурузы за 49 лет. 2. Рассчитаны значения климатических факторов: количество осадков и сумма активной температуры воздуха за вегетационный период культуры на 1972—2020 гг. 3. Построили 35 конфигураций ИНС по трем типам; задали количество сетей и число сохраняемых сетей; выбрали тип сети или конфигурацию; задали формат представления итоговых результатов. 4. Запустили процедуру обучения нейронных сетей. 5. Проанализировали полученные решения. Выбрали определенную сеть путем сравнения наблюдаемых значений и расчетных результатов. 6. Сохранили лучшие сети для прогнозирования урожайности зерновых культур с учетом динамики изменения климатических факторов на предстоящие годы.

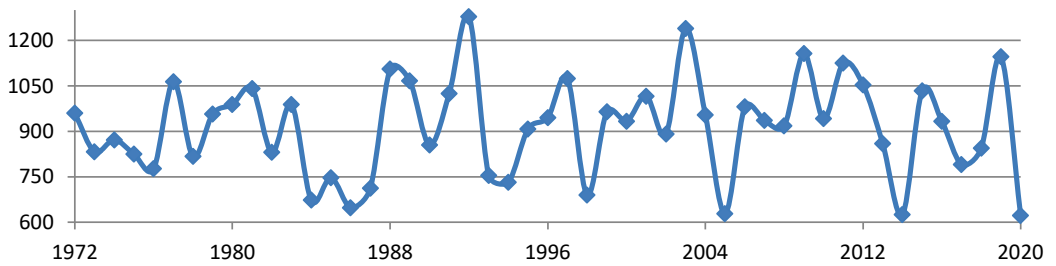
Динамика изменения суммы активной температуры, количества осадков за периоды вегетации и урожайности зерновых культур приведены на рис. 1 и 2.

Для озимой пшеницы в зимний период за активную температуру воздуха приняли 1 °С, в остальные периоды — 5 °С, вегетационный период составил 275...340 дней. Для кукурузы вегетационный период определен с 22 марта по 22 сентября, а за активные температуры взяли значения не менее 10 °С [15].

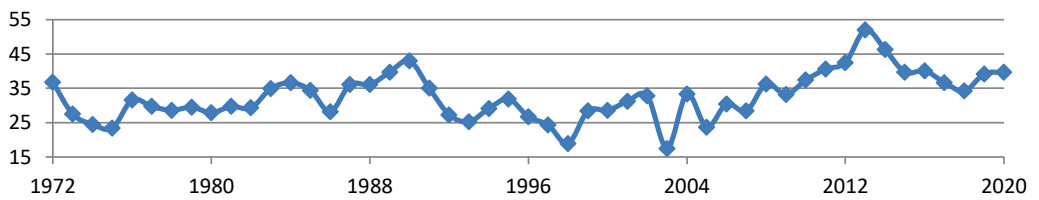
Загрузили исходные данные в программу, задали параметры настройки для построения искусственных нейронных сетей: временные ряды, входные переменные (активные температуры воздуха и количество осадков) и выходные (урожайности выбранной культуры), длительность анализа (число испытываемых сетей или время решений), тип сетей (линейная, вероятностная, на радиальных базисных функциях, многослойный персептрон). Выбрали комбинацию сетей GRNN, RBF и MLP. Для построения сетей использовали исходные данные первых 21 лет, по которым построены 35 комбинаций сетей. Результатом обучения построенных сетей по данным следующих 10 лет явился отбор 5 наиболее оптимальных сетей (табл. 2) [13—15].



a



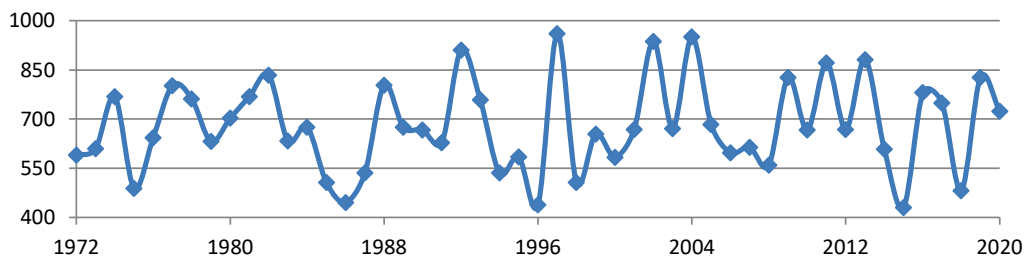
b



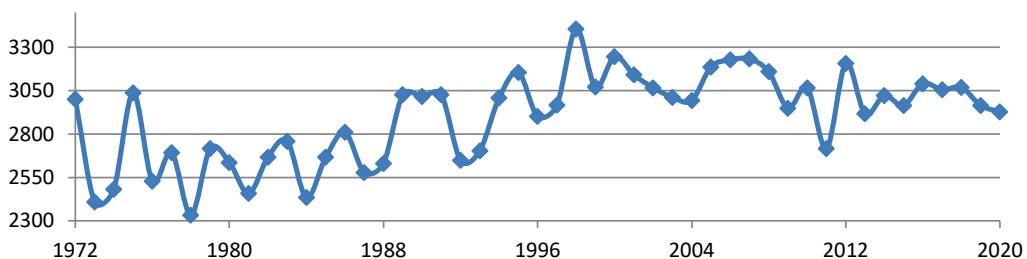
c

Рис. 1. Динамика изменения активной температуры воздуха (а), °С, количества осадков (в), мм, и урожайности озимой пшеницы (с), ц/га

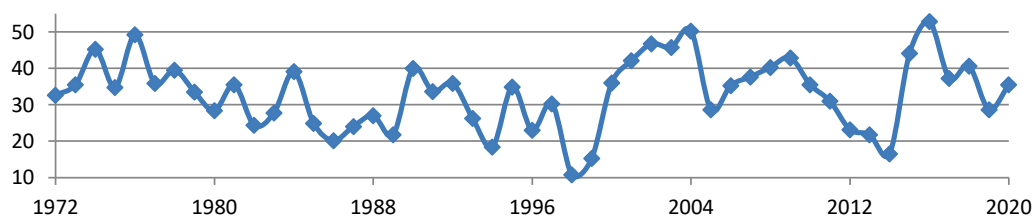
Fig. 1. Dynamics of changes in active air temperature (a), °C, rainfall (b), mm, and winter wheat yield (c), c/ha



а



б



в

Рис. 2. Динамика изменения активной температуры воздуха (а), °С, количества осадков (б), мм, и урожайности кукурузы (с), ц/га

Fig. 2. Dynamics of changes in active air temperature (a), °C, rainfall (b), mm, and corn yield (c), c/ha

Список отобранных сетей после обучения/ List of selected networks after training

Index	Profile	Train Perf	Select Perf	Test Perf	Train Err	Select Err	Training/ Memebers	Inputs	Hidden (1)	Hidden (2)
1	MLP s5:10–7–1–1	0,482	1,359	0,114	0,432	0,368	BP100, CG20, C	2	7	0
2	GRNN s5 2: 10–2	0,662	1,022	0,111	0,255	0,266	SS	2	21	2
3	GRNN s6 2: 12–2	0,526	1,027	0,088	0,248	0,259	SS	2	21	2
4	RBF s5: 10–2–1–1	0,979	1,004	0,164	0,243	0,281	KM, KN, PI	2	2	0
5	RBF s5: 10–1–1–1	0,965	1,004	0,162	0,239	0,289	KM, KN, PI	2	1	0

Продолжая процесс решения поставленной задачи, по данным следующих 9 лет запустили тестирование, по данным последних 9 лет — контроль выбранных 5 сетей. Задали формат представления итоговых результатов.

Фактические и 5 полученных вариантов прогнозных значений урожайности озимой пшеницы на предстоящие годы приведены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что прогнозные значения урожайности озимой пшеницы по вариантам в динамике близки к фактическим. Следовательно, из этих сетей можно выбрать одну для дальнейшего использования при составлении севооборота на предстоящие годы.

Графические построения нейронных сетей и расчет урожайности зерновых культур с учетом климатических характеристик приведены на рис. 4.

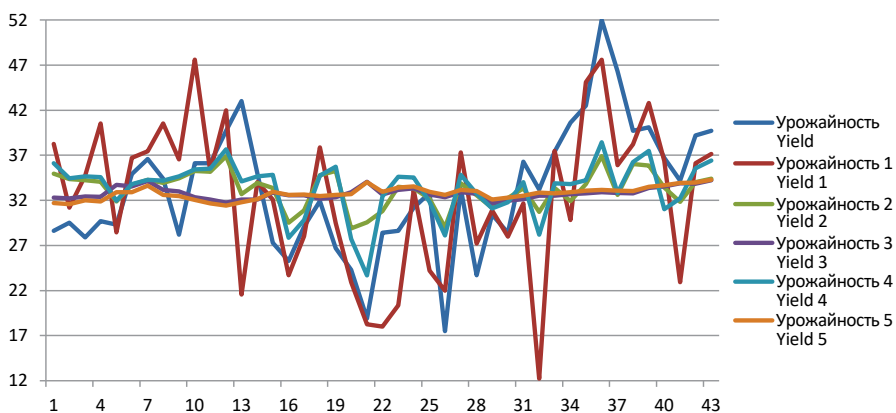


Рис. 3. Фактические и расчетные значения урожайности озимой пшеницы, ц/га

Fig. 3. Actual and calculated winter wheat yield, c/ha

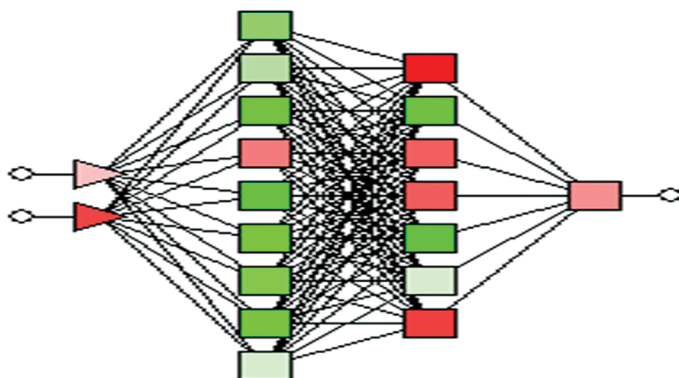


Рис. 4. Структура построения ИНС

Fig. 4. The structure of building Artificial Neural Networks

Программа позволяет построить зависимость урожайности от каждой климатической характеристики (рис. 5).

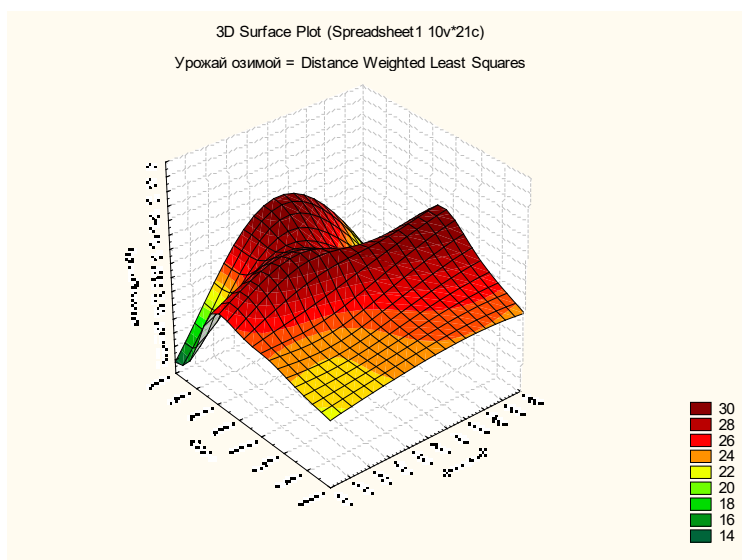


Рис. 5. Описание урожайности озимой пшеницы с учетом климатических характеристик

Fig. 5. Productivity of winter wheat depending on climatic characteristics

По результатам исследований разрабатываются рекомендации для сельхозпроизводителей. Если прогнозные значения урожайности ниже нормы, то указываются меры, которые необходимо предпринять. Требуется проведение дополнительного анализа факторов, обусловивших такой результат. Например, если это низкие осадки, необходимо провести мероприятия по орошению. Если причиной низкого

урожая явились неблагоприятные погодные условия (обильные осадки или град), то необходимо продумать план посева других сельскохозяйственных культур с коротким сроком вегетации [15].

Заключение

Для моделирования временных рядов с использованием искусственных нейронных сетей была обоснована структура в форме PNN or GRNN (обобщенно-регрессионная нейронная), RBF (радиальные базисные функции) и MLP (многослойный персептрон), выполнены их обучение, тестирование и контроль по исходным данным. В итоге выбрана одна нейронная сеть, которая будет использована для прогнозирования урожайности зерновых культур с учетом природно-климатических и техногенных показателей. Для каждой сельскохозяйственной культуры разработана отдельная нейронная сеть прогнозирования урожайности с учетом климатических характеристик (сумма активной температуры воздуха и осадков) вегетационного периода. Прогнозирование урожайности культур с использованием ИНС может свести риск потери урожая при неблагоприятных условиях к минимуму и добиться наибольших показателей при благоприятных.

Таким образом, для решения задач управления агропромышленным комплексом по прогнозированию урожайности озимой пшеницы и кукурузы на территории Кабардино-Балкарской Республики были решены следующие задачи:

— построены ИНС для прогнозирования урожайности озимой пшеницы с учетом сезонных значений суммарного количества осадков и суммы активной температуры воздуха;

— построены ИНС для прогнозирования урожайности кукурузы с учетом значений суммарного количества осадков и суммы активной температуры воздуха в период вегетации;

— результаты расчета модельных значений урожайности сельскохозяйственной культуры указывают на то, что урожай в предстоящие годы будет стабильным, хотя результаты по двум моделям показывают резкие колебания, а в 2027 г. урожай может погибнуть.

Библиографический список

1. *Рогачев А.Ф., Шубков М.Г.* Оценка прогнозного уровня урожайности сельскохозяйственных культур на основе нейросетевых моделей динамики // Известия Нижневолжского агропромышленного университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 4(28). С. 1—6.
2. *Хайкин С.* Нейронные сети. Полный курс. М.: Вильямс М, 2006. 1104 с.
3. *Борисенков Е.П.* Связь температуры и осадков с урожайностью // Труды ГГО. 1984. Вып. 471. С. 46—50.
4. *Fukui H.* Climatic variability and agriculture in tropical moist regions // Proceedings of the world climate Conference / WMO. 1979. № 537. Pp. 426—476.
5. *Мирмович Э.Г., Жаренов А.Б.* Анализ проблемы поддержки выработки решений на действия в кризисных ситуациях в условиях неопределенности // Технологии гражданской безопасности. 2007. № 3(13). С. 82—89.

6. Wongo M., Link P., Troore S.B., Sanon M., Kunstmann H. A crop model and fuzzy rule based approach for optimizing maize planting dates in Burkina Faso, West Africa // *Journal of applied meteorology and climatology*. 2014. Vol. 53. P. 598—613. doi: 10.1175/JAMC-D-130116.1
7. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Режим доступа: <http://www.matlab.exponenta.ru>
8. Мирмович Э.Г. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций и рисков как научно-практическая задача // *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях*. М.: ВИНТИ, 2003. Вып. 1. С. 142—146.
9. Заде Л.А. Основы полного подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. Математический сборник. М.: Знание, 1974. С. 5—19.
10. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: Методология и технологии современного анализа данных / под ред. В.П. Боровикова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Горячая линия—Телеком, 2008. 392 с.
11. Лозовой Я.С., Секирин А.И. Решение задачи прогнозирования с помощью нейронных сетей. Режим доступа http://www.rusnauka.com/1_NIO_2011/Informatica/78176.doc.htm
12. Савин И.Ю., Статакис Д., Нэгр Т., Исаев В.А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур с использованием нейронных сетей // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2007. № 6. С. 11—14.
13. Бисчоков Р.М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур для Кабардино-Балкарской Республики с использованием аппарата нечеткой логики // *Вестник российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2020. № 15(2). С. 123—133. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-123-133
14. Bischokov R., Didanova E., Trukhachev V., Marzhokhova M. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic // *Advances in Intelligent Systems Research*. Vol. 167. International Scientific and Practical Conference «Digitization of Agriculture—Development Strategy» (ISPC 2019). Pp. 401—404. doi: 10.2991/ispc-19.2019.89
15. Бисчоков Р.М., Аджиева А.А., Тхайцухова С.Р. Применение нечеткой логики для анализа рисков в аграрном секторе // *Вестник Курганской ГСХА*. 2014. № 3(11). С. 57—60.

References

1. Rogachev AF, Shubkov MG. Assessment of the predicted level of crop yield based on neural network models of dynamics. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2012; (4):226—231. (In Russ.)
2. Haykin S. *Neural networks. A Comprehensive Foundation*. 2nd ed. Moscow: Williams publ.; 2006.
3. Borisenkov EP. Connection of temperature and precipitation with yield. *Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory*. 1984;471:46—50. (In Russ.)
4. Fukui H. Climatic variability and agriculture in tropical moist regions. *Proceedings of the world climate Conference*. 1979;537:426—476.
5. Mirmovich EG, Zharenov AB. Analyses of the decision making support problem on actions in crisis situations in conditions of uncertainty. *Civil security technology*. 2007;(3):88—95. (In Russ.)
6. Wongo M, Link P, Troore SB, Sanon M, Kunstmann H. A crop model and fuzzy rule based approach for optimizing maize planting dates in Burkina Faso, West Africa. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2014;53(3):598—613. doi: 10.1175/JAMC-D-130116.1
7. Stovba SD. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction to fuzzy set theory and fuzzy logic]. Available from: <http://www.matlab.exponenta.ru> [Accessed 5th August 2020]. (In Russ.)
8. Mirmovich EG. Forecasting of emergencies and risks as a scientific and practical task. *Safety and emergencies problems*. 2003;(1):142—146. (In Russ.)
9. Zade LA. Fundamentals of a complete approach to the analysis of complex systems and decision-making processes. In: *Matematika segodnya*. Moscow: Znanie publ.; 1974. p.5—19. (In Russ.)
10. Borovikov VP. (ed.) *Neironnye seti. STATISTICA Neural Networks: Metodologiya i tekhnologii sovremennogo analiza dannykh* [Neural networks. STATISTICA Neural Networks: Methodology and Technologies of Modern Data Analysis]. 2nd ed. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom publ.; 2008. (In Russ.)
11. Lozovoy YS, Sekirin AI. Solving the problem of prediction using neural networks. Available from: http://www.rusnauka.com/1_NIO_2011/Informatica/78176.doc.htm [Accessed 16th August 2020]. (In Russ.)
12. Savin IY, Statakis D, Nagr T, Isaev VA. Forecasting farm crop yields by the use of neural networks. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2007;(6):11—14. (In Russ.)

13. Bischokov RM. Analysis, modeling and forecast of crop yields for the Kabardino-Balkarian Republic using fuzzy logic apparatus. *RUDN journal of agronomy and animal industries*. 2020;15(2):123–133. (In Russ.) doi: 10.22363/2312–797X-2020-15-2-123-133
14. Bischokov R, Didanova E, Trukhachev V, Marzhokhova M. Method of minimizing the risk of reducing the production of agricultural products by means of fuzzy logic. Atlantis Press. *Advances in Intelligent Systems Research*. 2019;167:401–404. doi: 10.2991/isp-19.2019.89
15. Bischokov RM, Adzhiyeva AA, Thaytsukhova SR. Application of fuzzy logic for risk analysis in agrarian sector. *Vestnik Kurganskoy GSKhA*. 2014;(4):57–60. (In Russ.)

Об авторе:

Бисчокоев Руслан Мусарбиевич — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики и информатики, Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Российская Федерация, 360012, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр-кт Ленина, д. 2 в; e-mail: rusbis@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6694-319X

About author:

Bischokov Ruslan Musarbievich — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Higher Mathematics and Informatics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University, 2v Lenin av., Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, 360012, Russian Federation; e-mail: rusbis@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6694-319X



DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-2-158-165

УДК 634.462:631.53.027

Научная статья / Research article

Способы обработки, позволяющие нарушить органическую стабильность семян *Ceratonia siliqua* L. в лаборатории

Ф. Дукси 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация

✉ f.duksi@gmail.com

Аннотация. Органический покой семян рожкового дерева — цератонии (*Ceratonia siliqua* L.) связан с их неспособностью впитывать воду, а это означает, что рожковое дерево испытывает затруднения в естественной регенерации. Семена перед посадкой необходимо обработать, чтобы нарушить механический покой. Проблема выживаемости усугубляется также антропогенным воздействием на природные экосистемы: увеличением площадей лесных пожаров, вырубкой деревьев для дальнейшего использования в качестве топлива для обогрева. Кроме того, всходы цератонии в природе очень редки из-за органического покоя, а распространение рожкового дерева происходит в основном с помощью семян. Цель исследования — оценка результатов нескольких экспериментов по нарушению покоя семян различными способами их обработки. В целом метод нарушения покоя семян предпосадочной обработкой приводит к улучшению прорастания семян и позволяет получить больше информации о семенной биологии рожкового дерева. Применяется метод, главным образом, в практике посадки. Исследование проведено на диком генотипе рожкового дерева, выращенном в Сирии. Всего было произведено четыре различных предпосевных обработки: замачивание в кипящей дистиллированной воде (70 °C) 10 мин; замачивание в кипящей дистиллированной воде (70 °C) 10 мин, а затем замачивание в дистиллированной воде в течение 24 ч; кислотная скарификация H_2SO_4 ; кислотная скарификация серной кислотой H_2SO_4 , а затем замачивание в дистиллированной воде на 24 ч. Мы предложили к применению и проверили эффективность стимуляции прорастания семян рожкового дерева обработкой серной кислотой и последующим замачиванием в дистиллированной воде в течение 24 ч. Этот способ оказался наиболее эффективным: всхожесть — 98 % по сравнению с необработанными семенами (5 %).

Ключевые слова: рожковое дерево, предпосевная обработка семян, семена покоя

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

История статьи: поступила в редакцию 5 апреля 2022 г., принята к публикации 12 мая 2022 г.

© Дукси Ф., 2022



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

Для цитирования: Дукси Ф. Способы обработки, позволяющие нарушить органическую стабильность семян *Ceratonia siliqua* L. в лаборатории // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 158—165. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-158-165

Effects of various pre-sowing treatments on *in vitro* seed germination of *Ceratonia siliqua* L.

Fatima Duksi 

RUDN University (Peoples' Friendship University of Russia), Moscow, Russian Federation
✉ f.duksi@gmail.com

Abstract. The organic dormancy of *Ceratonia* seeds is associated with their water resistance, which means that Carob suffers from difficulty in natural regeneration. Before planting Carob seeds must be treated in order to disturb mechanical dormancy. The main reasons for the decline in genus *Ceratonia* L. are anthropogenic impact on natural ecosystems, as well as the uses of *Ceratonia* for many goals. This problem is aggravated by the fact that seedlings of *Ceratonia* in nature are very rare because of organic dormancy, and the distribution of carob occurs mainly with the help of seeds. The aim of this work was to study the methods of pre-sowing treatment of dormant Carob seeds. This study was conducted on a wild Carob genotype grown in Syria. Four different pre-sowing treatments were the following: soaking in boiling distilled water (70 °C) for 10 min; soaking in boiling distilled water (70 °C) for 10 min + soaking in distilled water for 24 h; acid scarification with sulphuric acid (H₂SO₄); acid scarification with sulphuric acid (H₂SO₄) + soaking in distilled water for 24 h. We applied and examined for their effectiveness stimulation of Carob seed germination. The results showed that seeds treated with sulphuric acid (H₂SO₄) and then soaked in distilled water for 24 h was the most effective method increasing the germination percentage by 98 % compared to untreated seeds 5 %.

Keywords: *Ceratonia siliqua*, pre-sowing treatment, seeds dormancy

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

Article history: Received: 5 April 2022. Accepted: 12 May 2022

For citation: Duksi F. Effects of various pre-sowing treatments on *in vitro* seed germination of *Ceratonia siliqua* L. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):158—165. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-158-165

Введение

Рожковое дерево или цератония (*Ceratonia siliqua* L.) относится к семейству Fabaceae (бобовые) [1], оно широко культивируется в районах Средиземноморья, одним из них является Сирия [2]. Цератония характеризуется высоким экологическим значением (обладает высокой степенью адаптации, выносит

относительно суровые условия обитания и характеризуется устойчивостью к вредителям и болезням, приспособляемостью к засухе, бедным и каменистым почвам), ее выращивание приносит экономическую выгоду (на национальном и региональном уровнях — в качестве стабильного источника дохода местного населения за счет получения продукции из плодов и семян) [3—5]. Семена бобов цератонии используются как промышленное сырье для производства ценного полисахарида, являющегося пищевой добавкой — камедь рожкового дерева (E-410), представляющей собой порошок измельченного эндосперма семени [6, 7]. Камедь E 410 используют для производства фармацевтических продуктов [8—10]. Цератония более огнестойка, чем хвойные, из-за отсутствия эфирного масла. Это качество объясняет, почему многие страны в засушливых регионах мира занимаются выращиванием цератонии [11]. В Сирии рожковое дерево не является чисто лесной агломерацией, так как оно встречается в остатках средиземноморских термальных лесов с оливковыми деревьями и др. [12—15]. Семена рожкового дерева необходимо обработать перед посадкой, чтобы нарушить механический покой, так как у них твердый слой кожуры, который препятствует поступлению воды или воздуха. Таким образом, мы можем сделать вывод, что органический покой семян цератонии связан с их водонепроницаемостью. Твердосемянность является видовой особенностью *Ceratonia silique*. Обычно покой семян из-за твердого слоя кожуры встречается у климатически адаптированных видов растений, произрастающих в сухих и влажных регионах [16, 17].

Цель исследования — изучить способы предпосевной обработки покоящихся семян рожкового дерева и определить наиболее эффективный. Предпосевная подготовка семян рожкового дерева, главным образом, решает задачу повышения полевой всхожести семян.

Материалы и методы исследования

Материалы: десять зрелых стручков рожкового дерева, собранных в районе Алеппо в Сирии с разных экземпляров растений. Пять деревьев были выбраны случайным образом в течение 2019 г., идентификация проведена в дендрологической лаборатории на аграрном факультете Университета Алеппо в Сирии, оставшиеся пять — в аграрно-технологическом институте Российского университета дружбы народов (Москва). В этом исследовании стручки сушили в тени и хранили в бумажных мешках до использования, стручки разбивали на отдельные сегменты, а семена изолировали.

Контроль патогенов: техника асептики — это важный способ уменьшения заражения патогенными грибами, плесенью и бактериями, уничтожающий их либо убивающий и сводящий их присутствие к минимуму. Семена замачивали в 70 % этаноле в течение 1 мин, затем тщательно промывали 4—5 раз в стерилизованной дистиллированной воде с целью сведения к минимуму развития микроорганизмов на ранних стадиях прорастания.

Тест на жизнеспособность семян: семена были помещены в химический стакан, затем замачивались в воде; всплывающие семена выбраковали.

Мы применили четыре различные предпосевные обработки и проверили их эффективность для стимуляции прорастания семян рожкового дерева.

В лаборатории во всех опытах анализировали по 100 семян в каждом опыте. Постоянную температуру (25 °C) тестировали на прорастание в стеклянных чашках Петри с двумя фильтровальными бумагами для предотвращения пересыхания (предварительно наполненных на 4,5 мл дистиллированной водой). По мере необходимости фильтровальную бумагу смачивали дистиллированной водой, после чего подсчитывали число проросших семян.

Наше исследование проводилось в следующих вариантах:

1. Контроль (необработанные семена): семенам давали прорасти без какой-либо обработки.

2. Замачивание в горячей воде (70 °C) на 10 мин: семена погружали в горячую дистиллированную воду (3 объема воды на каждый объем семян), а затем оставляли для охлаждения при комнатной температуре (примерно 25 °C) в течение 10 мин.

3. Замачивание в горячей воде (70 °C) в течение 10 мин + замачивание в дистиллированной воде на 24 ч: семена погружали в горячую дистиллированную воду (3 объема воды на каждый объем семян), а затем оставляли для охлаждения при комнатной температуре (примерно 25 °C) в течение 24 ч.

4. Скарификация концентрированной серной кислотой H_2SO_4 : 96 % H_2SO_4 использовалась для замачивания семян в течение 30 мин (3 объема кислоты на каждый объем семян), затем семена промывали проточной водой в течение 1 ч с целью удаления всех следов кислоты перед проверкой на всхожесть.

5. Скарификация концентрированной серной кислотой H_2SO_4 и замачивание в дистиллированной воде на 24 ч: 96 % H_2SO_4 использовалась для замачивания семян в течение 30 мин (3 объема кислоты на каждый объем семян), затем семена промывали проточной водой с целью удаления всех следов кислоты перед проверкой на всхожесть, после чего семена замачивали в дистиллированной воде на 24 ч.

Измерения: всхожесть семян, или доля проросших семян (%) и среднее время прорастания (в днях) регистрировали для всех обработок. Всхожесть рассчитывали по следующей формуле [11]: всхожесть = количество проросших семян / общее количество семян $\times 100$.

Результаты исследования и обсуждение

При обработке для нарушения фазы органического покоя инертных семян церагонии самая высокая скорость прорастания семян рожкового дерева наблюдалась после скарификации концентрированной серной кислотой H_2SO_4 и замачивания в дистиллированной воде на 24 ч. Результаты обработок всеми способами приведены в таблице и на рис. 1—4.

Влияние вида обработок на показатели всхожести семян

Тип обработки	Всхожесть, %	День начала прорастания	Последний день прорастания	Период прорастания всех семян в пробе, дни
Контроль (необработанные семена)	5	10	56	46
Замачивание в горячей воде (70 °С) на 10 мин	84	7	16	9
Замачивание в горячей воде (70 °С) на 10 мин и замачивание в дистиллированной воде на 24 ч	89	6	11	5
Скарификация концентрированной серной кислотой H ₂ SO ₄ в течение 30 мин	91	4	8	4
Скарификация концентрированной серной кислотой H ₂ SO ₄ в течение 30 мин и замачивание в дистиллированной воде на 24 ч	98	3	7	4

Influence of treatments on seed germination

Treatment	Seed germination, %	First germination day	Last germination day	Germination period for all seeds, days
Control (untreated seeds)	5	10	56	46
Soaking in hot water (70 °C) for 10 minutes	84	7	16	9
Soaking in hot water (70 °C) for 10 minutes + soaking in distilled water for 24 hours	89	6	11	5
Scarification with concentrated sulfuric acid H ₂ SO ₄ for 30 minutes	91	4	8	4
Scarification with concentrated sulfuric acid H ₂ SO ₄ for 30 minutes + soaking in distilled water for 24 hours	98	3	7	4

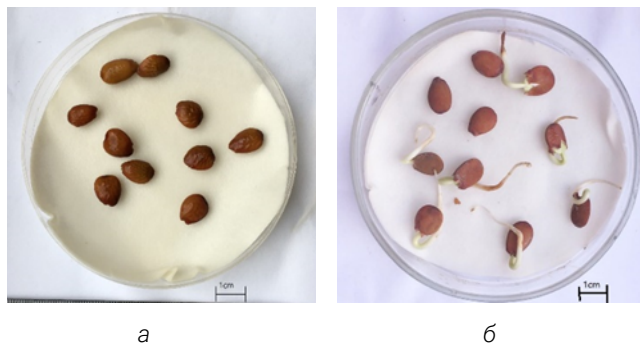


Рис. 1. Обработка семян замачиванием в горячей дистиллированной воде (70 °С) в течение 10 мин: а – сразу после обработки; б – девятый день после обработки

Fig. 1. Soaking seeds in hot distilled water (70 °C) for 10 minutes: а – immediately after treatment; б – nine days after treatment

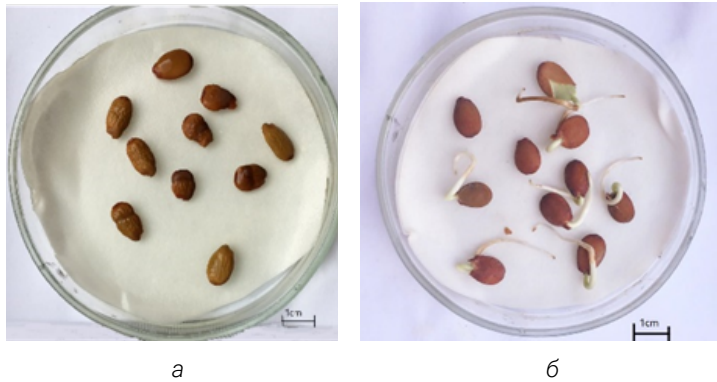


Рис. 2. Обработка семян замачиванием в горячей дистиллированной воде (70 °С) в течение 10 мин, а затем замачивание в дистиллированной воде в течение 24 ч: а – сразу после обработки; б – девятый день после обработки

Fig. 2. Soaking seeds in hot distilled water (70 °C) for 10 minutes + soaking in distilled water for 24 hours: а – immediately after treatment; б – nine days after treatment

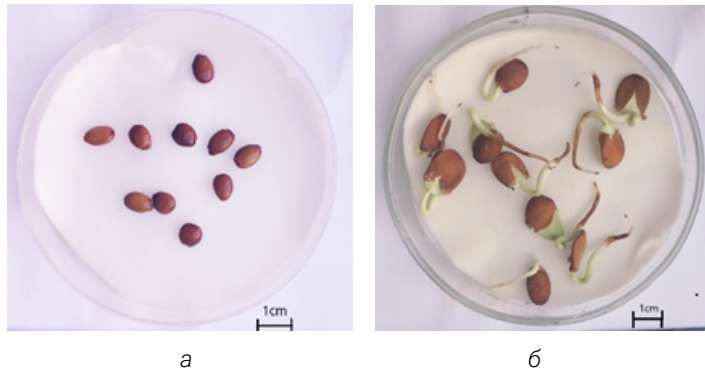


Рис. 3. Обработка семян H_2SO_4 : а – сразу после обработки; б – девятый день после обработки

Fig. 3. Scarification seeds with H_2SO_4 for 30 minutes: а – immediately after treatment; б – nine days after treatment

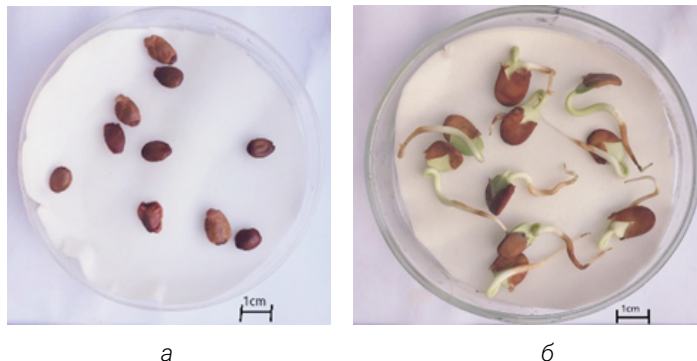


Рис. 4. Обработка семян H_2SO_4 и замачивание в дистиллированной воде в течение 24 ч: а – сразу после обработки; б – девятый день после обработки

Fig. 4. Scarification seeds with H_2SO_4 for 30 minutes + soaking in distilled water for 24 hours: а – immediately after treatment; б – nine days after treatment

Полученные данные свидетельствуют о том, что, как при обработке семян горячей водой (70 °С), так и при скарификации серной кислотой, последующее замачивание в дистиллированной воде сокращает и сроки начала прорастания семян, и период их прорастания.

По результатам сравнения методик были сделаны выводы, что скорость прорастания семян рожкового дерева и их всхожесть лучше после обработки серной кислотой с последующим замачиванием в дистиллированной воде на 24 ч ввиду того, что, как правило, покой семян встречается у климатически адаптированных видов растений и обусловлен твердым слоем кожуры, который препятствует поступлению воды или воздуха.

Заключение

Предложенный нами способ скарификации семян путем обработки их концентрированной серной кислотой с последующим 24-часовым замачиванием в дистиллированной воде позволяет значительно повысить выход всхожего семенного материала для последующей закладки питомников.

Кроме того, предложенная методика существенно сокращает время прорастания семян по сравнению с традиционно используемыми методами скарификации, что также ускоряет период высадки новых растений в питомники.

References / Библиографический список

1. Eldeeb GSS, Mosilhey SH. Roasting temperature impact on bioactive compounds and PAHs in Carob powder (*Ceratonia siliqua* L.). *J Food Sci Technol*. 2022;59:105–113. doi: 10.1007/s13197-021-04989-7
2. Viruel J, Le Galliot N, Pironon S, Nieto Feliner G, Suc J, Lakhal-Mirleau F, Juin M, Selva M, Kharrat MBD, Ouahmane L, Malfa SL, Diadema K, Sanguin H, Médail F, Baumel A. A strong east—west Mediterranean divergence supports a new phylogeographic history of the carob tree (*Ceratonia siliqua*, Leguminosae) and multiple domestications from native populations. *Journal of Biogeography*. 2019;47(2):460–471. doi: 10.1111/jbi.13726
3. Gregoriou G, Neophytou CM, Vasincu A, Gregoriou Y, Hadjipakkou H, Pinakoulaki E, Christodoulou MC, Ioannou GD, Stavrou IJ, Christou A, Kapnissi-Christodoulou CP, Aigner S, Stuppner H, Kakas A, Constantinou AI. Anti-cancer activity and phenolic content of extracts derived from cypriot carob (*Ceratonia siliqua* L.) pods using different solvents. *Molecules*. 2021;26(16):5017. doi: 10.3390/molecules26165017
4. Pouresmaeil V, Haghghi S, Raeisalsadati AS, Neamati A, Homayouni-Tabrizi M. The anti-breast cancer effects of green-synthesized zinc oxide nanoparticles using carob extracts. *Current Medicinal Chemistry—Anti-Cancer Agents*. 2021;21(3):316–326. doi: 10.2174/1871520620666200721132522
5. Rtibi K, Marzouki K, Salhi A, Sebai H. Dietary supplementation of carob and whey modulates gut morphology, hemato-biochemical indices, and antioxidant biomarkers in rabbits. *Journal of Medicinal Food*. 2021;24(10):1124–1133. doi: 10.1089/jmf.2020.0185
6. Yuan, L, Wu Y, Qin Y, Yong H, Liu J. Recent advances in the preparation, characterization and applications of locust bean gum-based films. *Journal of Renewable Materials*. 2020;8(12):1565–1579. doi: 10.32604/jrm.2020.014562
7. Zannou O, Güclü G, Koca I, Selli S. Carob beans (*Ceratonia siliqua* L.): uses, health benefits, bioactive and aroma compounds. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*. 2019;12(1):26–34.
8. Tagnamas Z, Kouhila M, Bahammou Y, Lamsyehe H, Moussaoui H, Idlimam A, Lamharrar A. Drying kinetics and energy analysis of carob seeds (*Ceratonia siliqua* L.) convective solar drying. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2021;147(3):2281–2291. doi: 10.1007/s10973-021-10632-6
9. Othmen KB, Elfalleh W, Beltrán JMG, Esteban MÁ, Haddad M. An in vitro study of the effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) leaf extracts on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) leucocyte activities. Antioxidant, cytotoxic and bactericidal properties. *Fish & Shellfish Immunology*. 2020;99:35–43. doi: 10.1016/j.fsi.2020.02.005

10. Rashed K. Phytochemical and biological effects of *Ceratonia siliqua* L.: a review. *Journal of innovative pharmaceutical sciences and research*. 2021;9(6):1–8. doi: 10.21276/IJIPSR.2021.09.06.900
11. Aissa A, Chakroun I, Rejeb R, Ayed MH. Effect of partial dietary substitution of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) to barley grains on diet digestibility in growing rabbits. *Journal of New Sciences*. 2021;79(1):4580–4585.
12. Bazzato E, Lallai E, Serra E, Melis MT, Marignani M. Key role of small woodlots outside forest in a Mediterranean fragmented landscape. *Forest Ecology and Management*. 2021;496:119389. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119389
13. Jadrane I, Alfeddy MN, Dounas H, Kouisni L, Aziz F, Ouahmane L. Inoculation with selected indigenous mycorrhizal complex improves *Ceratonia siliqua*'s growth and response to drought stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2021;28(1):825–832. doi: 10.1016/j.sjbs.2020.11.018
14. Paz-Kagan T, Chang JG, Shoshany M, Sternberg M, Karnieli A. Assessment of plant species distribution and diversity along a climatic gradient from Mediterranean woodlands to semi-arid shrublands. *GIScience & Remote Sensing*. 2021;58(6):929–953. doi: 10.1080/15481603.2021.1953770
15. Sara N, Addi M, Abid M, Belkoura I. Effect of pre-sowing treatments and basal media on in vitro carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germination. *Journal of Biotech Research*. 2021;12:74–82.
16. Yatim M, El Kahkahi R, Es-Sbata I, El-Askri T, ElOirdi S, Lakhlifi T, Belhaj A, Hafidi M, Zouhair R. Effects of pre-sowing treatments and abiotic stress on the germination of *Ceratonia siliqua* seeds of four Moroccan biomes. *Annual Research & Review in Biology*. 2020;35(12):11–31. doi: 10.9734/ARRB/2020/v35i1230307
17. Pérez-García F. Germination characteristics and intrapopulation variation in carob (*Ceratonia siliqua* L.) seeds. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 2020;7(2):398–406. doi: 10.5424/sjar/2009072-431

Об авторе:

Дукси Фатима — аспирант Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-макляя, д. 6; e-mail: f.duksi@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7353-7816

About Author:

Duksi Fatima — post-graduate student, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: f.duksi@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7353-7816



Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-2-166-179

УДК 630.181;581.52

Научная статья / Research article

Комплексная оценка функционирования *Krascheninnikovia ceratoides* L. и его продуктивный потенциал на мелиорированных пастбищах аридной зоны

Л.П. Рыбашлыкова 

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения РАН, г. Волгоград, Российская Федерация
✉ ludda4ka@mail.ru

Аннотация. Неправильное использование пастбищных угодий стало одним из факторов нарушения естественной растительности. В целях приостановления опустынивания в Прикаспийском регионе в середине XX в. были проведены лесомелиоративные работы и созданы значительные площади насаждений из терескена серого (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.)). Полукустарник имеет широкий ареал распространения и обладает хорошо развитой корневой системой, обеспечивая себя достаточным количеством влаги в жестких климатических условиях аридной зоны. Дана системная оценка долгосрочного воздействия облесения и развития полукустарникового яруса в различных условиях увлажнения за вегетационный период при функционировании пастбищных экосистем на примере мелиорированного массива «Молодежный-терескен». Определены основные таксационные показатели, используемые для оценки развития *Krascheninnikovia ceratoides*: высота, диаметр кроны, густота стояния растений. Основу исследований составили полевые таксационно-морфологические измерения полукустарника терескена серого и расчеты комплексного показателя D. По результатам исследования выявлено, что обобщенный анализ биометри-

© Рыбашлыкова Л.П., 2022



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

ческих параметров терескена по критерию D является объективным инструментом оценки его развития в сложившихся климатических факторах определенного года. Установлена прямая корреляционная связь между суммой осадков осеннего периода в различные годы исследований и значениями интегрального показателя D ($r = 0,97$) при более высоком его значении в 2012 г. ($D = 0,905$). Отмечается высокая степень прямой корреляционной связи между значениями интегрального показателя D и урожайностью кормовой массы ($r = 0,90$). Мелиоративно-кормовые насаждения из *Krascheninnikovia ceratoides* обладают устойчивостью, долговечностью, высоким ценозообразующим потенциалом и являются наилучшим способом улучшения, восстановления пастбищ в засушливых и полузасушливых районах.

Ключевые слова: *Krascheninnikovia ceratoides*, полукустарник, мелиоративно-кормовые насаждения, аридная зона, Черные земли, пастбища, системная оценка развития, фитомелиорация, юг России

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

Финансирование. Благодарности. Исследование выполнено по теме Государственного задания № 122020100309-0 «Теоретические основы, базовые принципы и технологии повышения эффективности защитного лесоразведения и комплексной фитомелиорации на деградированных, нарушенных и низкопродуктивных землях засушливой зоны России».

История статьи: поступила в редакцию 26 октября 2021 г.; принята к публикации 14 февраля 2022 г.

Для цитирования: Рыбашлыкова Л.П. Комплексная оценка функционирования *Krascheninnikovia ceratoides* L. и его продуктивный потенциал на мелиорированных пастбищах аридной зоны // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 166—179. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-166-179

Comprehensive assessment of *Krascheninnikovia ceratoides* L. development and its productive potential in reclaimed pastures of arid zone

Ludmila P. Rybashlykova 

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of Russian Academy of Sciences, Volgograd, Russian Federation

✉ ludda4ka@mail.ru

Abstract. Improper use of pasture lands has become one of the factors resulted in destruction of natural vegetation. In order to stop desertification, forest reclamation works were carried out in the Caspian region in the mid-20th century, and significant areas of *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) plantings were created. The Pamirian winterfat is a wide distributed plant. It has a well-developed root system, providing sufficient water in climatic conditions of the arid zone. The article provides a systematic assessment of the long-term impact of afforestation and the development of a subshrub layer in various humidity conditions over the growing season during the functioning of pasture ecosystems in reclaimed Molodezhny-teresken territory. The main taxation indicators used to assess the development of *Krascheninnikovia ceratoides* were determined: height, crown diameter, plant standing density. The research was based on field taxational and morphological measurements of the subshrub and calculations of the complex indicator D. The study revealed that the generalized analysis of the biometric parameters of Pamirian winterfat according to criterion D was an objective tool for assessing its development in the prevailing climatic factors of a certain year. A direct correlation was established between the

amount of precipitation in autumn period of research years and the values of the integral indicator D ($r = 0.97$) with its higher value in 2012 ($D = 0.905$). There is a high level of direct correlation between the values of the integral indicator D and the yield of feed mass ($r = 0.90$). *Krascheninnikovia ceratoides* reclamation and forage plantations have stability, durability, high price-forming potential and are the best way to improve and restore pastures in arid and semi-arid zones.

Key words: *Krascheninnikovia ceratoides*, shrub, reclamation and forage plantations, arid zone, Black lands, pastures, systematic assessment of development, phytomelioration, south of Russia

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

Acknowledgement. The research was carried out on the topic of State Assignment No. 122020100309-0 «Theoretical foundations, basic principles and technologies for improving the effectiveness of protective afforestation and integrated land reclamation on degraded, disturbed and low-productive lands of the arid zone of Russia».

Article history: Received: 26 October 2021. Accepted: 14 February 2022

For citation: Rybashlykova LP. Comprehensive assessment of *Krascheninnikovia ceratoides* L. development and its productive potential in reclaimed pastures of arid zone. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):166—179. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-166-179

Введение

Интенсивное использование малопродуктивных земель в аридной зоне привело к нарушению стабильности, деструкции и негативной трансформации пастбищных экосистем [1—3]. На эти процессы оказывают влияние два взаимосвязанных фактора: антропогенная деградация и естественный агроклиматический потенциал [4—6]. Улучшение пастбищ в значительной степени связано с совершенствованием методов и приемов обустройства опустыненных территорий, повышением долговечности, экологической, сельскохозяйственной и утилитарной эффективности насаждений [7—9]. В связи с этим изучение функционирования мелиорированных пастбищных и лесопастбищных экосистем в оптимальных, а особенно в экстремальных условиях аридной зоны имеет теоретическое и практическое значение.

В течение 1980—1990-х гг. на Черных землях Республики Калмыкия были проведены лесомелиоративные работы и созданы значительные площади мелиоративно-кормовых насаждений из терескена серого (*Krascheninnikovia ceratoides*) [10—15]. Этот полукустарник привлекает к себе внимание как засухоустойчивое, солевывносливое, пескоукрепительное и кормовое растение. Таксационные показатели терескена (высота, диаметр кроны, густота стояния растений) в определенной степени реагируют на сложившиеся природно-климатические условия определенного года, как в осенний, так и летне-осенний периоды, причем установлено преимущественное влияние осенних осадков на рост и развитие вегетационной массы растения в весенний период [16, 17]. Кроме того, рассматриваемые показатели имеют разную размерность и весомость при оценке развития терескена. Поэтому возникла необходимость разработки комплексного таксационного показателя,

учитывающего реакцию отдельных таксономических элементов на изменяющиеся условия температуры и увлажнения в течение вегетационного периода развития терескена в различные годы.

В связи с этим **целью исследований** является системная оценка развития терескена на основе таксационных показателей и его продуктивности при различных условиях увлажнения за вегетационный период на черноземельских пастбищах в различные годы.

Материалы и методы исследований

Объект исследований — мелиорированное пастбище, имеющее полукустарниковый ярус из терескена серого, или крашенинниковии серой (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. [*Ceratoides papposa* Botsch. et Ikonn.; *Eurotia ceratoides* (L.) C.A. Mey.]). Участок с терескеновыми насаждениями расположен в Яшкульском районе Республики Калмыкия (Черные земли) 46°33'172»N, 46°27'831»E (рис. 1).

Оценка состояния и развития древесно-полукустарникового яруса терескена проводилась на основе таксационно-морфологических показателей, полученных в полевых условиях на 8 пробных площадях в 0,25...0,30 га прямоугольной формы. Методика расчетов комплексного показателя D основана на выборе ряда критерияльных показателей развития терескена (высоты растения, см, диаметра кроны, см, количества растений, тыс. шт./га) при различных климатических условиях, складывающихся в различные годы исследований [18]. Интегральный критерий D в общем виде определяется как среднее геометрическое желательности отдельных показателей, количество которых может быть 3, 4...n.

$$D = \sqrt[n]{d_1^{k_1} d_2^{k_2} d_3^{k_3} d_4^{k_4}}, \quad (1)$$

где $d_1...d_4$ — значение желательности 1...4 показателя; $k_1...k_4$ — весомость (важность) 1...4 показателя.

Промежуточные расчеты выполнены по вышеуказанной методике с вычислением желательности отдельных показателей и их весомости. Весомость показателей k_i определялась методом экспертной оценки с привлечением специалистов в области аридного земледелия и технологий восстановления пастбищ. Степень согласованности мнений экспертов проверялась по коэффициенту χ^2 .

$$\chi^2 = S / [mn(n+1) / 12 - \sum T_j / n - 1], \quad (2)$$

где S — сумма квадратов отклонений средней суммы рангов от суммы рангов каждого показателя; m — число членов экспертной комиссии; n — количество показателей; $\sum T_j = \sum (t_j^2 - t_j) / 12$, где t_j — число одинаковых рангов в j-м ряду.



Рис. 1. Карта-схема расположения участка исследований «Молодежный-терескен» Республика Калмыкия (космоснимок SasPlanet)



Fig. 1. Map-layout of «Molodezhny-Teresken» research site, Republic of Kalmykia (Satellite image SasPlanet)

Результаты исследования и обсуждение

За 30-летний период и более на мелиорированных пастбищах аридной зоны (на примере массива «Молодежный-терескен») произошли значительные изменения растительного покрова. Терескен серый, в связи с систематическим отмиранием побегов и специфичной сезонной динамикой развития как особой формы приспособления к недостатку влаги, требует особого подхода к оценке состояния, в виду того, что в позднелетний и осенний периоды для многолетников, полукустарничков и полукустарников характерна наибольшая продуктивность надземной фитомассы. Полукустарник держится в травостое 30 и более лет (рис. 2), отличается длительной вегетацией (185...200 дней). В первый год жизни достигает высоты 30...40 см, в последующие — 60...70 см. Хорошо переносит выпас, характеризуется незначительной отавностью, поедается всеми видами скота.



Рис. 2. Лесопастбище «Молодежный-терескен» Черные Земли, Республика Калмыкия (через 30 лет после закладки, 2014 г.). Фото Л.П. Радочинской

Fig. 2. Molodezhny-teresken forest pasture, Black Lands, Republic of Kalmykia (30 years after establishing, 2014). Photo by L.P. Radochinskaya

Анализ данных по температуре и осадкам осеннего (сентябрь—ноябрь) и весенне-летнего (март—август) периодов по годам исследований (2011—2012, 2013—2014 и 2015—2016 гг.) проводился на основании информации полученной на метеостанции Утта. Данные этих лет исследований приводятся с учетом наиболее динамичных показателей по осадкам и температуре для более объективной оценки связи параметра увлажнения с обобщенным показателем D (табл. 1, 2).

Таблица 1

Среднемесячная температуры за вегетационный период по годам исследований, °С

Месяцы	Среднегодовья	2011–2012	2013–2014	2015–2016
Осенний период				
Сентябрь	+17,6	+18,0	+16,4	+21,4
Октябрь	+9,5	+10,0	+9,1	+7,8
Ноябрь	+3,0	-1,9	+5,6	+ 0,4
Сумма температур	30,1	26,1	31,1	29,6
Весенне-летний период				
Март	+1,0	+0,5	+4,3	+5,3
Апрель	+10,7	+15,5	+10,7	+13,3
Май	+18,0	+22,1	+21,7	+18,4
Июнь	+22,9	+25,8	+24,5	+23,9
Июль	+25,5	+26,8	+26,9	+26,5
Август	+24,0	+25,9	+28,3	+28,2
Сумма температур	102,1	116,6	116,4	115,6

Table 1

Average monthly temperature for the growing season, °C

Month	Average annual	2011–2012	2013–2014	2015–2016
Autumn period				
September	+17.6	+18.0	+16.4	+21.4
October	+9.5	+10.0	+9.1	+7.8
November	+3.0	-1.9	+5.6	+ 0.4
Sum of temperatures	30.1	26.1	31.1	29.6
Spring-summer period				
March	+1.0	+0.5	+4.3	+5.3
April	+10.7	+15.5	+10.7	+13.3
May	+18.0	+22.1	+21.7	+18.4
June	+22.9	+25.8	+24.5	+23.9
July	+25.5	+26.8	+26.9	+26.5
August	+24.0	+25.9	+28.3	+28.2
Sum of temperatures	102.1	116.6	116.4	115.6

Установлено, что сумма температур осеннего периода незначительно отличается от среднегодовой с диапазоном отклонений от -4 до $+1,0$ °С, и более значимым отклонением в весенне-летний период ($+13,6...+15,5$ °С).

Таблица 2

Среднемесячная сумма осадков за вегетационный период, мм

Месяцы	Среднемноголетняя	2011–2012	2013–2014	2015–2016
Осенний период				
Сентябрь	25	83	98	32
Октябрь	17	41	12	22
Ноябрь	20	31	16	6
Сумма осадков	62	155	126	60
Весенне-летний период				
Март	15	14	29	12
Апрель	14	14	4	7
Май	32	1,3	25	93
Июнь	28	75	21	31
Июль	26	35	1	43
Август	27	36	5	7
Сумма осадков	142	175,3	85	193

Table 2

Average monthly precipitation during the growing season, mm

Month	Average annual	2011–2012	2013–2014	2015–2016
Autumn period				
September	25	83	98	32
October	17	41	12	22
November	20	31	16	6
Precipitation total	62	155	126	60
Spring-summer period				
March	15	14	29	12
April	14	14	4	7
May	32	1,3	25	93
June	28	75	21	31
July	26	35	1	43
August	27	36	5	7
Precipitation total	142	175.3	85	193

Отмечается значительное увеличение суммы осадков от среднемноголетней осенью 2011 и 2013 гг. на 93 и 64 мм, а также суммы осадков весенне-летнего периода 2012 и 2016 гг. на 33 и 51 мм.

Проведенная экспертная оценка (табл. 3) показала, что весомерность показателей выглядит следующим образом: средняя высота, см — $k_1 = 0,293$; средний диаметр кроны, см — $k_2 = 0,364$; количество растений, тыс. шт./га — $k_3 = 0,343$. Полученное значение $\chi^2 (1,42)$ больше табличного значения (1,23) при уровне значимости 0,97. Это значит, что существует неслучайная согласованность мнений экспертов. Критериальные показатели терескена для различных уровней желательности, рассчитанные методом группировки данных, приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты экспертной оценки весомости показателей k_j терескена

Эксперты	Показатели		
	y_1	y_2	y_3
1	3/0,2*	1/0,5	2/0,3
2	3/0,2	1,5/0,4	1,5/0,4
3	3/0,2	2/0,3	1/0,5
4	2,5/0,3	2,5/0,3	1/0,4
5	1/0,45	2/0,4	3/0,15
6	3/0,3	1,5/0,35	1,5/0,35
7	1/0,4	2,5/0,3	2,5/0,3
Весомость k_j	0,293	0,364	0,343
Сумма рангов	16,5	13	12,5
Отклонение от средней суммы рангов	2,5	-1	-1,5
Квадраты отклонений	6,25	1	2,25

*В числителе – ранг показателя t_j ; в знаменателе – весомость показателя k_j .

Table 3

Expert assessment of Pamirian winterfat k_i indicators

Expert	Indicator		
	y_1	y_2	y_3
1	3/0.2*	1/0.5	2/0.3
2	3/0.2	1.5/0.4	1.5/0.4
3	3/0.2	2/0.3	1/0.5
4	2.5/0.3	2.5/0.3	1/0.4
5	1/0.45	2/0.4	3/0.15
6	3/0.3	1.5/0.35	1.5/0.35
7	1/0.4	2.5/0.3	2.5/0.3
Weightiness k_j	0.293	0.364	0.343
Sum of ranks	16.5	13	12.5
Deviation from the average sum of ranks	2.5	-1	-1.5
Deviation squares	6.25	1	2.25

*In numerator – rank of t_j indicator; in denominator – weight of k_j indicator.

Таблица 4

Уровни желательности для принятых показателей развития терескена

Показатели	Обозначение	Желательности d				
		1,0	0,8	0,63	0,37	0,2
Высота, см	y_1	81,0–68,4	68,4–55,8	55,8–43,2	43,2–30,6	30,6–18,0
Диаметр кроны, см	y_2	80–68,6	68,6–57,2	57,2–45,8	45,8–34,3	34,3–23,0
Густота стояния растений, тыс. шт./га	y_3	19,1–17,7	17,7–16,3	16,3–14,8	14,8–13,4	13,4–12,0

Table 4

Desirability levels for accepted indicators of Pamirian winterfat development

Indicators	Designation	Desirability d				
		1.0	0.8	0.63	0.37	0.2
Height, cm	y_1	81.0–68.4	68.4–55.8	55.8–43.2	43.2–30.6	30.6–18.0
Crown diameter, cm	y_2	80–68.6	68.6–57.2	57.2–45.8	45.8–34.3	34.3–23.0
Density of plant standing, thousand plants/ha	y_3	19.1–17.7	17.7–16.3	16.3–14.8	14.8–13.4	13.4–12.0

На основании данных табл. 4 рассчитываются линейные уравнения вида $d_i = ay_i + c$ зависимости желательностей d_i от средних значений диапазонов натуральных показателей y_i . Уравнения для каждого показателя приведены в табл. 5.

Таблица 5

Зависимость вида $d_i = ay_i + c$ для различных показателей

Показатели	Обозначения	Уравнения
Высота, см	y_1	$d_1 = 0,0161y_1 - 0,1975$
Диаметр кроны, см	y_2	$d_2 = 0,0178y_2 - 0,3156$
Густота стояния растений, тыс. шт./га	y_3	$d_3 = 0,1419y_3 - 1,605$

Table 5

 $d_i = ay_i + c$ dependence for various indicators

Indicator	Designation	Equation
Height, cm	y_1	$d_1 = 0.0161y_1 - 0.1975$
Crown diameter, cm	y_2	$d_2 = 0.0178y_2 - 0.3156$
Density of plant standing, thousand plants/ha	y_3	$d_3 = 0.1419y_3 - 1.605$

Подставляя в уравнения значения натуральных показателей терескена по годам исследований, находим их желательности $d_{1...3}$.

Значения критерия D , рассчитанные с учетом натуральных значений принятых показателей y_i и их желательности d_i для различных годов исследований, приведены в табл. 6.

Таблица 6

Интегральный критерий D развития полукустарника по годам

Годы исследований	Высота, см (y_1/d_1)	Диаметр кроны, см (y_2/d_2)	Количество растений, тыс. шт./га (y_3/d_3)	D
2012	71/0,94	42/0,43	19,0/1,08	0,905
2014	50/0,60	43/0,44	16,8/0,77	0,836
2016	44/0,51	33/0,27	16,3/0,70	0,767

Table 6

Integral criterion D of Pamirian winterfat development

Year	Height, cm (y_1/d_1)	Crown diameter, cm (y_2/d_2)	Density of plant standing, thousand plants/ha (y_3/d_3)	D
2012	71/0.94	42/0.43	19.0/1.08	0.905
2014	50/0.60	43/0.44	16.8/0.77	0.836
2016	44/0.51	33/0.27	16.3/0.70	0.767

Определена высокая степень прямой корреляционной связи между суммой осадков осеннего периода (см. табл. 2) и значениями интегрального показателя D ($r = 0,97$) с большим его значением в 2012 г. ($D = 0,905$), принимая во внимание тот факт, что осадки весенне-летнего периода имеют интенсивный ливневый характер, что при повышенной температуре (см. табл. 1) несколько нивелирует их влияние на интенсивность развития *Krascheninnikovia ceratoides*.

Продуктивные запасы надземной массы веточного корма полукустарника зависят не только от метеоусловий и стравливания, но и от места произрастания и особенностей биологии вида.

Наибольшая урожайность терескена (15,6 ц/га сырой массы, или 6,08 ц/га высушенного корма) зафиксирована при влажных вегетационных периодах. Отмечается высокая степень прямой корреляционной связи между значениями интегрального показателя D и весом воздушно-сухой массы растения ($r = 0,90$) с большим его значением в 2012 г., равным 6,08 ц/га (табл. 7).

Таблица 7

Продуктивность терескена в насаждениях
(Яшкульский район, Республика Калмыкия (Черные Земли))

Участок	Год	Количество сохраненных кустов на 1 га, шт.	Поедаемая масса куста, г		Вес возд. сух. массы, ц/га
			Сырая	Воз./сух.	
«Молодежный-терескен»	2012	19,0±1,6	82,57	32,00	6,08±1,7
	2014	16,8±0,8	84,12	33,48	5,62±2,1
	2016	16,3±1,2	80,00	30,50	4,97±1,4

Table 7

Pamirian winterfat productivity in plantings
(Yashkul district, Republic of Kalmykia (Black Lands))

Location	Year	Number of survived plants per 1 ha	Feed mass, g		Dry weight, c/ha
			Wet	Dry	
Molodezhny-teresken	2012	19.0±1.6	82.57	32.00	6.08±1.7
	2014	16.8±0.8	84.12	33.48	5.62±2.1
	2016	16.3±1.2	80.00	30.50	4.97±1.4

Применение метода модельных кустов для терескена серого показало, что в условиях почти полного отсутствия осадков в весенний период (2...4 мм/месяц), доля поедаемой воздушно-сухой массы достигает 35 % в острозасушливые годы.

Выводы

Комплексная оценка таксационных показателей терескена по критерию D является объективным инструментом оценки его развития в сложившихся климатических факторах определенного года.

Установлена прямая корреляционная связь между суммой осадков осеннего периода в различные годы исследований и значениями интегрального показателя D ($r = 0,97$) при более высоком его значении в 2012 г. ($D = 0,905$).

Значению интегрального показателя $D = 0,905$ соответствует и больший вес воздушно-сухой массы растений, полученный в 2012 г. и равный 6,08 ц/га, при этом прямая корреляция между этими показателями во все годы исследований составляет величину $r = 0,9$.

Мелиоративно-кормовые насаждения из *Krascheninnikovia ceratoides* обладают устойчивостью, долговечностью, высоким ценозообразующим потенциалом и являются наилучшим способом улучшения, восстановления пастбищ в засушливых и полузасушливых районах.

Библиографический список

1. Тютюма Н.В., Булахтина Г.К., Кудряшов А.В., Кудряшова Н.В. Мелиоративная эффективность кустарниковых кулис на аридных пастбищах юга России // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 1(82). С. 62—68. doi: 10.24411/1993-3916-2020-10084
2. Ибрагимов К.М., Гамидов И.Р., Умаханов М.А. Повышение продуктивности деградированных Кизлярских пастбищ // Кормопроизводство. 2017. № 8. С. 18—21.
3. Дедова Э.Б., Гольдварг Б.А., Цаган-Манджиев Н.Л. Деградация земель Республики Калмыкия: проблемы и пути их восстановления // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. 2(83). С. 63—71. doi: 10.24411/1993-3916-2020-10097
4. Манаенков А.С., Кулик А.К. Закрепление и облесение песков засушливой зоны. Волгоград, 2016. 55 с.
5. Крючков С.Н., Маттис Г.Я. Лесоразведение в засушливых условиях. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2014. 300 с.
6. Шамсутдинов Н.З., Каминов Ю.Б., Батыров В.А. Биологические особенности и кормовая продуктивность полукустарников в условиях Прикаспийской полупустыни // Успехи современного естествознания. 2019. № 7. С. 39—44. doi: 10.17513/use.37157
7. Rybashlykova L.P., Lepesko V.V. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in southern Russia // Лесной журнал. 2021. № 3(381). С. 37—48. doi: 10.37482/0536-1036-2021-3-37-48
8. Комарова И.А., Иванцова Е.А. Геоинформационная оценка агроландшафтов на тестовом полигоне «Черные земли» // Известия НВ АУК. 2021. 1(61). С. 452—460. doi: 10.32786/2071-9485-2021-01-43
9. Митрошенкова А.Е. Кустарниковые степи Самарского Высокого Заволжья // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2015. № 1(13). С. 52—63.
10. Perez-Collzos E., Catalan P. Genetic diversity analysis and conservation implications for the Iberian threatened populations of the irano-turanian relict *Krascheninnikovia ceratoides* (Chenopodiaceae) // Biological Journal of the Linnean Society. 2007. Vol. 92. № 3. Pp. 419—429. doi: 10.1111/j.1095-8312.2007.00882.x
11. Турчин Т.Я., Ермолова А.С., Пичуева Г.В. Приживаемость и рост аборигенных и интродуцированных видов древесных растений на среднебугристых песках в степной зоне // Лесохозяйственная информация. 2017. № 3. С. 20—34. doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.3.02

12. Косолапов В.М., Писковацкий Ю.М., Шамсутдинова Э.З., Каминов Ю.Б., Шамсутдинов З.Ш., Кенжегалиев Г.К. Фитоценотическая селекция кормовых растений: научные предпосылки и некоторые результаты // Кормопроизводство. 2017. № 12. С. 12—17.
13. Del Rio J., Peñas J. *Kraschenninikovia ceratoides* (L). Gueldenst redescubierta en el marquesado del Zenete (Granada) // Acta Botanica Malacitana. 2006. Vol. 31. Pp. 200—202. doi: 10.24310/abm.v31i31.7160
14. Seidl A., Tremetsberger K., Pfanzelt S., Blattner F.R., Neuffer B., Friesen F., Hurka H., Shmakov A., Batlai O., Čalasan A.Ž., Vesselova P.V., Bernhardt K.G. The phylogeographic history of *Krascheninnikovia* reflects the development of dry steppes and semi-deserts in Eurasia // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. № 1. Pp. 6645. doi: 10.1038/s41598-021-85735-z
15. Вдовенко А.В., Манаенков А.С., Радочинская Л.П. Динамика состояния опустыненных земель сельскохозяйственного назначения на юге России // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 5. С. 49—53.
16. Manaenkov A.S., Rybashlykova L.P. Increasing the Efficiency of Plant-Cover Restoration in the Modern Focus of Deflation on Pastures of the Northwestern Caspian Region // Arid Ecosystems. 2020. T. 10. № 4. С. 358—367. doi: 10.1134/S2079096120040149
17. Манаенков А.С. Лесомелиорация арен засушливой зоны. 2-е изд., перераб. и доп. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2018. 428 с.
18. Сохт К.А. Машинные технологии возделывания зерновых культур. Краснодар, 2001. 271 с.

References

1. Tyutyuma NV, Bulakhtina GK, Kudryashov AV, Kudryashova NV. Meliorative efficiency of shrub coultures in arid pastures of Southern Russia. *Arid ecosystems*. 2020;26(1):62—68. (In Russ.) doi: 10.24411/1993-3916-2020-10084
2. Ibragimov KM, Gamidov IR, Umakhanov MA. Increasing the productivity of degraded grassland of Kizlyar pastures. *Fodder Production*. 2017;(8):18—21. (In Russ.)
3. Dedova EB, Goldvarg BA, Tsagan-Manzhiev NL. Land degradation of the republic of Kalmykia: problems and ways to recover. *Arid ecosystems*. 2020;26(2):63—71. (In Russ.) doi: 10.24411/1993-3916-2020-10097
4. Manaenkov AS, Kulik AK. *Zakreplenie i oblesenie peskov zasushlivoi zony* [Consolidation and afforestation of dry zone sands]. Volgograd; 2016. (In Russ.)
5. Kryuchkov SN, Mattis G.Y. *Lesorazvedenie v zasushliviyykh usloviyakh* [Afforestation in arid conditions]. Volgograd: VNIALMI publ.; 2014. (In Russ.)
6. Shamsutdinov NZ, Kaminov YB, Batyrov VA. Biological characteristics and fodder productivity of dwarf semishrubs in the conditions of the Circum-caspian semi-deserts. *Advances in current natural sciences*. 2019;(7):39—44. (In Russ.) doi: 10.17513/use.37157
7. Rybashlykova LP, Lepesko VV. Assessment of natural and forest reclaimed forage lands in semi-desert conditions in southern Russia. *Russian forestry journal*. 2021;(3):37—48. doi: 10.37482/0536-1036-2021-3-37-48
8. Komarova IA, Ivantsova EA. Geoinformation assessment of agro-landscapes at the test range 'Black Lands'. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education*. 2021;(1):452—460. (In Russ.) doi: 10.32786/2071-9485-2021-01-43
9. Mitroshenkova AE. Shrubby steppes of Samara High trans-Volga region. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University*. 2015;(1):52—63. (In Russ.)
10. Perez-Collzos E, Catalan P. Genetic diversity analysis and conservation implications for the Iberian threatened populations of the Irano-Turanian relict *Krascheninnikovia ceratoides* (Chenopodiaceae). *Biological Journal of the Linnean Society*. 2007;92(3):419—429. doi: 10.1111/j.1095-8312.2007.00882.x
11. Turchin TY, Ermolova AS, Pichueva GV. Survival and growth of aboriginal and introduced woody plant species at middle hill sandy sites in steppe zone. *Forestry information*. 2017;(3):20—34. (In Russ.) doi: 10.24419/LHI.2304-3083.2017.3.02
12. Kosolapov VM, Piskovatskiy YM, Shamsutdinova EZ, Shamsutdinov ZS, Kaminov YB, Kenzhegaliev GK. Phytocenotic forage plant breeding: background and some results. *Fodder Production*. 2017;(12):12—17. (In Russ.)
13. Del Rio J, Peñas J. *Kraschenninikovia ceratoides* (L). Gueldenst., redescubierta en el marquesado del Zenete (Granada). *Acta Botanica Malacitana*. 2006; 31:200—202.
14. Seidl A, Tremetsberger K, Pfanzelt S, Blattner FR, Neuffer B, Friesen N, Hurka H, Shmakov A, Batlai O, Čalasan AŽ, Vesselova PV, Bernhardt KG. The phylogeographic history of *Krascheninnikovia* reflects the development of dry steppes and semi-deserts in Eurasia. *Scientific Reports*. 2021; 11:6645. doi: 10.1038/s41598-021-85735-z

15. Vdovenko AV, Manaenkov AS, Radochinskaya LP. Dynamics of the state desertified lands of agricultural importance in South Russia. *Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*. 2015;(5):49—53. (In Russ.)

16. Manaenkov AS, Rybashlykova LP. Increasing the efficiency of plant-cover restoration in the modern focus of deflation on pastures of the northwestern Caspian Region. *Arid Ecosystems*. 2020;10(4):358—367. doi: 10.1134/S 2079096120040149

17. Manaenkov AS. *Lesomelioratsiya aren zasushlivoi zony* [Forest reclamation of arid zone arenas]. 2nd ed. Volgograd: VNIALMI publ.; 2018. (In Russ.)

18. Sokht KA. *Mashinnye tekhnologii vozdeleyvaniya zernovykh kul'tur* [Machine technologies of cultivation of grain crops]. Krasnodar; 2001. (In Russ.)

Об авторе:

Рыбашлыкova Людмила Петровна — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защитного лесоразведения и фитомелиорации низкопродуктивных земель, ФНЦ агроэкологии РАН, Российская Федерация, 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97; e-mail: ludda4ka@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3675-6243

About of author:

Rybashlykova Ludmila Petrovna — Candidate of Agricultural Sciences, Leading researcher, Laboratory of protective afforestation and phytomelioration of low-yielding lands, Federal Research Centre of Agroecology, Amelioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, 97 Universitetsky av., Volgograd, 400062, Russian Federation; e-mail: ludda4ka@mail.ru

ORCID: 0000-0002-3675-6243




Озеленение населенных пунктов Landscaping of settlements

DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-180-192

УДК 581.5:582.689.2(470.11/2)

Научная статья / Research article

Оценка интродукционных испытаний дальневосточных видов рода *Primula* L. в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте

Н.Н. Тростенюк  , Е.А. Святковская , Н.В. Салтан Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина
Кольского научного центра РАН, г. Анапиты, Российская Федерация
 tnn_aprec@mail.ru

Аннотация. Представители рода *Primula* являются незаменимыми интродуцентами для Кольского Севера, характеризуются компактностью кустов, яркостью окрасок, устойчивостью в городских условиях и преимущественно ранним цветением. Полярно-альпийский ботанический сад-институт (ПАБСИ) изучает виды рода *Primula* с 1934 г. Проанализированы результаты исследований (с 1948 г. по настоящее время) 6 дальневосточных видов рода *Primula*: *P. borealis* Duby, *P. farinosa* L., *P. jesoana* Miq., *P. nutans* Georgi, *P. patens* (Turcz.) E. Busch, *P. saxatilis* Kom. Исходный материал получен путем семенного обмена с ботаническими садами России, СНГ и зарубежных стран. Наблюдения за опытными растениями проведены с использованием стандартных интродукционных методик, на основе которых построены феноспектры сезонного развития растений, оценены баллы приживаемости (БП). Рассчитан интродукционный коэффициент (ИК), отражающий особую ценность рассматриваемой группы растений. Метод эколого-географического анализа использован для составления интродукционного прогноза. Среди изученных видов перспективными и наиболее адаптированными к условиям Кольского Заполярья являются *Primula nutans* (БП = 11), полученная из семян культурных растений скандинавских стран, и *P. jesoana* (БП = 9). *P. borealis*, *P. patens* (БП = 4) слабо приспособлены к условиям региона, *P. farinosa* (БП = 1,0) и *P. saxatilis* (БП = 1,5) прошли интродукционные испытания в недостаточном объеме в связи с малым

© Тростенюк Н.Н., Святковская Е.А., Салтан Н.В., 2022

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

периодом исследования. Эколого-географический анализ показал, что к местным условиям адаптированы растения, обитающие от тундровой до степной зоны (*P. nutans* — ИК = 1,57), и в отдельных случаях растения таежной зоны, достигающие в горах субальпийского пояса (*Primula jesoana* — ИК = 1,28). Менее приспособлены растения тундровой зоны, заходящие в горах в альпийский пояс (*P. borealis* — ИК = 0,57).

Ключевые слова: интродукция, дальневосточные виды, род *Primula*, баллы приживаемости, интродукционный коэффициент, Кольский Север

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

Финансирование. Благодарности. Работы выполнены на Уникальной научной установке «Коллекции живых растений Полярно-альпийского ботанического сада-института», рег. № 499394.

История статьи: поступила в редакцию 28 марта 2022 г., принята к публикации 22 апреля 2022 г.


Для цитирования: Тростенюк Н.Н., Святковская Е.А., Салтан Н.В. Оценка интродукционных испытаний дальневосточных видов рода *Primula* L. в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С.180—192. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-180-192

Assessment of introduction studies on far eastern *Primula* species in the polar-alpine botanical garden-institute

Nadezhda N. Trostenyuk  , Ekaterina A. Sviatkovskaya ,

Natalia V. Saltan 

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of N.A. Avrorin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russian Federation

 tnn_aprec@mail.ru

Abstract. Species of *Primula* genus are indispensable introducents for the Kola North, characterized by compact bushes, bright colors, tolerance to urban environments and predominantly early flowering. The Polar-Alpine Botanical Garden-Institute has been studying species of *Primula* genus since 1934. The results of introduction studies (from 1948 to present) of 6 Far Eastern species of *Primula* genus: *P. borealis* Duby, *P. farinosa* L., *P. jesoana* Miq., *P. nutans* Georgi, *P. patens* (Turcz.) E. Busch, *P. saxatilis* Kom. were analyzed in the article. The initial material was obtained by seed exchange with botanical gardens in Russia, the CIS and foreign countries. Phenological observations were carried out according to generally accepted methods, on the basis of which the phenological spectrum of seasonal development of plants were constructed, and survival points (SP) were assessed. The introduction coefficient (IC) was calculated, which reflected the introduction value of the considered group of plants. The method of ecological-geographical analysis was used to compile the introduction forecast. Among the studied species, *Primula nutans* (SP=11) obtained from the seeds of cultivated plants from Scandinavian countries and *P. jesoana* (SP=9) were most adapted to the conditions of the Kola Arctic. Two species (*P. borealis*, *P. patens* (SP = 4)) were poorly adapted to the conditions of the region, *P. farinosa* (SP = 1.0) and *P. saxatilis* (SP = 1.5) were not tested enough due to a short study period. The study showed that plants living from the tundra to the steppe zone (*P. nutans* — IC = 1.57) and, in some cases, plants of the taiga zone reaching the subalpine belt in the mountains (*Primula jesoana* — IC= 1.28) were adapted to local conditions. The plants of the tundra zone and the alpine zone in the mountains (*P. borealis* — IC = 0.57) were less adapted.

Keywords: introduction, Far Eastern species, *Primula* genus, survival points, introduction coefficient, Kola North

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

Acknowledgments. The research was carried out at the Unique Scientific Installation «Collections of Living Plants of the Polar Alpine Botanical Garden-Institute», reg. No. 499394.

Article history: Received: 28 March 2022. Accepted: 22 April 2022

For citation: Trostenyuk NN, Sviatkovskaya EA, Saltan NV. Assessment of introduction studies on far eastern *Primula* species in the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):180—192. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-180-192

Введение

В озеленении урбанизированных территорий Крайнего Севера особо значимы переселенные из более южных районов и адаптированные к условиям сурового края, декоративные цветочные растения-интродуценты [1]. Перспективными считаются представители рода *Primula* L., включающего около 500 видов, распространенных преимущественно в умеренных зонах и в альпийском поясе гор. Центры видового разнообразия — Гималаи, горы Юго-Западного Китая и Средней Азии, Кавказ и Альпы [2, 3].

Интродукционными исследованиями рода *Primula* занимались многие ботанические научные учреждения [4—7]. Полярно-альпийский ботанический сад-институт (ПАБСИ) изучает виды рода *Primula* с 1934 г., испытания проведены для 121 вида различного эколого-географического происхождения. Наиболее адаптированные из них включены в ассортимент для озеленения населенных мест Крайнего Севера, в настоящее время содержащий 10 видов данного рода: *Primula sikkimensis* Hook. [8], *P. elatior* (L.) Hill [9], *P. amoena* Bieb. [10], *P. alpicola* Stapf, *P. arctica* Koidz., *P. pubescens* Jacq. и *P. parryi* A. Gray [11], *P. kitaibeliana* Schott, *P. juliae* Kusn. [12], *P. minima* L. [13]. Большой вклад в исследование примул и пополнение озеленительного ассортимента ее представителями внесли выдающиеся ученые-интродукторы Н.А. Аврорин, Г.Н. Андреев и Б.Н. Головкин.

Изучение видов рода *Primula* в регионе актуально, так как это устойчивые растения для Кольского Севера, для которых характерны компактные кусты и яркая окраска цветков. Большинство представителей изучаемого рода рано цветут, плодоносят и образуют высококачественные семена, необходимые для продолжения существования вида [14].

В предыдущих исследованиях обобщены результаты интродукционных испытаний европейских и кавказских видов этого родового комплекса [15, 16]. Значительную группу в коллекции ПАБСИ представляют дальневосточные виды.

Цель исследования — оценка многолетних интродукционных испытаний дальневосточных видов рода *Primula* для выявления наиболее перспективных представителей, адаптированных к условиям Кольского Заполярья.

Материалы и методы исследования

ПАБСИ расположен за Полярным кругом в центре Хибин, климатические условия региона значительно отличаются от других районов России. Средняя месячная температура воздуха летом, когда наблюдается основное развитие растений, составляет 10...14 °С. В период вегетации растений возможны поздние весенние и ранние осенние заморозки. Особенность климатических условий — относительно короткий вегетационный период (около 120 дней). С 26 мая по 18 июля на широте Хибин полярный день. Зима морозная, высота снежного покрова может достигать 2 м. В середине октября устанавливается постоянный снежный покров (возможно его кратковременное образование в сентябре), а полное исчезновение приходится на конец мая — начало июня. От климатических условий во многом зависит рост и развитие интродуцированных растений [17].

Опытные питомники для испытания растений находятся в лесной зоне парковой территории ПАБСИ. Коллекционный питомник травянистых многолетников № 1 расположен на высоте 340 м над ур. моря, семенной и лекарственный — на высоте 316 м над ур. моря.

Объекты исследований — 6 дальневосточных видов рода *Primula* [18, 19]: *P. borealis*, *P. farinosa*, *P. jesoana*, *P. nutans*, *P. patens*, *P. saxatilis*, в разное время интродуцированных в ПАБСИ.

Исходный материал получен путем семенного обмена (дикие и культурные семена) с ботаническими садами России, СНГ и зарубежных стран. Фенологию проводили с использованием стандартных интродукционных методик [20, 21]. Выделяли 6 основных стадий развития: начало вегетации, бутонизация, цветение, созревание семян (зеленые плоды), плодоношение и отмирание надземной части. Высоту растений и размеры цветков определяли в начале вегетации, в период массового цветения и плодоношения.

На основе шкалы, разработанной Б.Н. Головкиным по способности растений к плодоношению [14], оценили баллы приживаемости (БП) каждого вида. Для оценки ценности рассматриваемой группы растений рассчитывали интродукционный коэффициент (ИК) (отношение баллов приживаемости каждого вида к среднему баллу для всей совокупности испытанных образцов) [22]. При составлении интродукционного прогноза использовали метод эколого-географического анализа [23].

Результаты исследования и обсуждение

Всего, начиная с 1948 г., на питомниках ПАБСИ испытано 14 образцов дальневосточных видов рода *Primula* (табл. 1). Из них в настоящее время в коллекции содержится 1 вид *P. nutans* (1 образец), 5 видов (*P. borealis*, *P. farinosa*, *P. jesoana*, *P. patens*, *P. saxatilis*) не сохранились по разным причинам.

Таблица 1

Результаты интродукционного анализа дальневосточных видов рода *Primula* L.

Виды	Годы испытаний	Количество образцов		Конечная фаза развития	Баллы приживаемости
		прошедших испытание	наличие в 2021 г.		
<i>Primula borealis</i>	1959–1964	1	–	Ц	4,0
<i>P. farinosa</i>	1964–1965, 2001–2002	3	–	В	1,0
<i>Primula jesoana</i>	1957–1978	1	–	П	9,0
<i>Primula nutans</i>	1948–1954, 1981 – н. в.	5	1	П	11,0
<i>Primula patens</i>	1962–1966	2	–	Ц	4,0
<i>Primula saxatilis</i>	1962–1964, 2011–2012	2	–	В	1,5

Примечание. В – вегетация; Б – бутонизация; Ц – цветение; ЗП – зеленые плоды; П – плодоношение; н. в. – испытываются по настоящее время; «–» – отсутствует.

Table 1

Results of introduction analysis for *Primula* Far Eastern species

Species	Years of testing	Number of samples		Final growth stage	Survival points (SP)
		tested	available in 2021		
<i>Primula borealis</i>	1959–1964	1	–	Fl	4.0
<i>P. farinosa</i>	1964–1965, 2001–2002	3	–	V	1.0
<i>Primula jesoana</i>	1957–1978	1	–	Fr	9.0
<i>Primula nutans</i>	1948–1954, 1981–u.n.	5	1	Fr	11.0
<i>Primula patens</i>	1962–1966	2	–	Fl	4.0
<i>Primula saxatilis</i>	1962–1964, 2011–2012	2	–	V	1.5

Note: V – vegetation; B – bud formation, Fl – flowering; GF – green fruits; Fr – fruiting; u. n. – until now; «–» – not available.

Известно, что успех интродукционного эксперимента для каждого вида растений во многом зависит от фаз прохождения сезонного развития, возможности адаптировать свою феноритмику к новым условиям. Фенологические ритмы обусловлены особенностями регионального климата, варьируют от показателей температуры и влажности вегетационного периода конкретного года [24]. Не вызывает сомнения тот факт, что нецветущие и неплодоносящие виды бесперспективны для выращивания в данных климатических условиях. Вследствие этого важным параметром успешности интродукции является оценка прохождения растениями-интродуцентами всех фенологических фаз.

Primula borealis (примула северная). Ареал распространения тундровая зона Сибири, Дальнего Востока, Аляски. Встречается на торфяных буграх, на заиленных берегах рек, озер, пойменных галечниках, слабо задернованных склонах. *Primula borealis* всюду единична. Возможно, распространена шире, но в силу крайней немногочисленности популяций более нигде не встречается [23].

Впервые для интродукционных испытаний в ПАБСИ она поступила дикими семенами в 1959 г. из г. Певек (Россия) и находилась в посадках до 1964 г. (см. табл. 1). В условиях региона это низкорослое растение, до 8 см, с плотной розеткой листьев, со слабым мучнистым налетом. Листья обратнойцевидные или лопатчатые, мелкозубчатые или почти цельнокрайние, снизу с железками. Цветочные стрелки тонкие, слабо мучнистые близ верхушки. Цветки лиловато-розовые, диаметром 1,8 см, собраны в зонтиковидное соцветие.

Вегетация у *Primula borealis* начиналась с середины мая и продолжалась до середины сентября. По продолжительности самые длинные фазы — бутонизация (40 дней) и созревание семян (66 дней). В противоположность вышеназванным фазам, период цветения составил всего 8 дней: начало — в первой декаде июля, окончание — во второй (рис.).

Primula farinosa (примула мучнистая) распространена в тундровой и таежной зонах Европы, Исландии, Кавказа, Алтая, Восточной Сибири, севера Дальнего Востока, Монголии, Северной Америки и Гренландии. Встречается в горах до альпийского пояса, на лугах и пастбищах, лесных полянах, морских, озерных и речных берегах, приморских скалах, болотах и торфяниках [18].

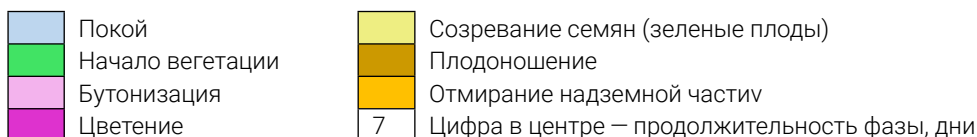
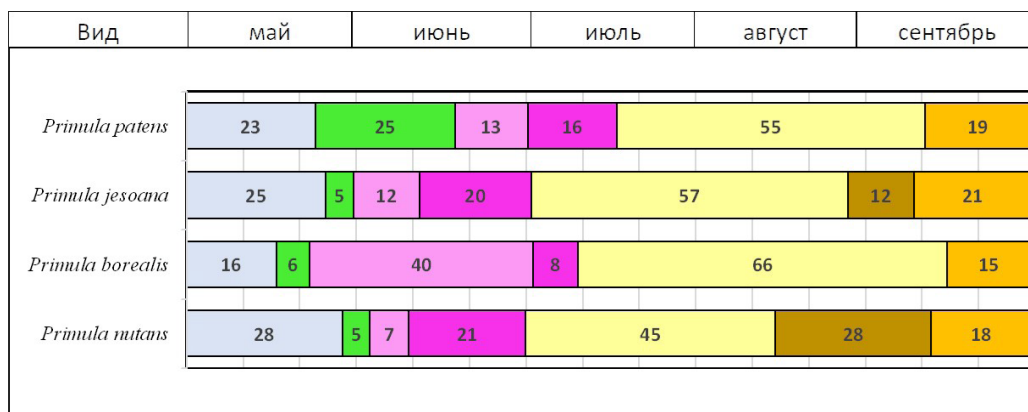
Данный вид впервые получен в 1964 г. семенами культурными из БИНа (г. Санкт-Петербург) и из г. Братислава (Словакия). Растения, выращенные из семян, просуществовали в посадках до 1965 г. В 2001 г. испытания данного вида продолжены. Новая партия семян поступила из г. Женева (Швейцария). Продолжительность нахождения растений на опытных площадках, как и в первом случае, была 1 год (см. табл. 1). В условиях Заполярья это низкорослое растение до 7 см высотой, листья лопатчато-ланцетные, мелкозубчатые по краям, с белым восковым налетом.

Primula farinosa вегетировала с конца мая до первых осенних заморозков. Стадии бутонизации, цветения и плодоношения отсутствовали.

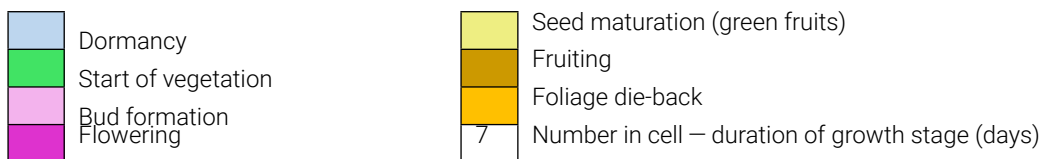
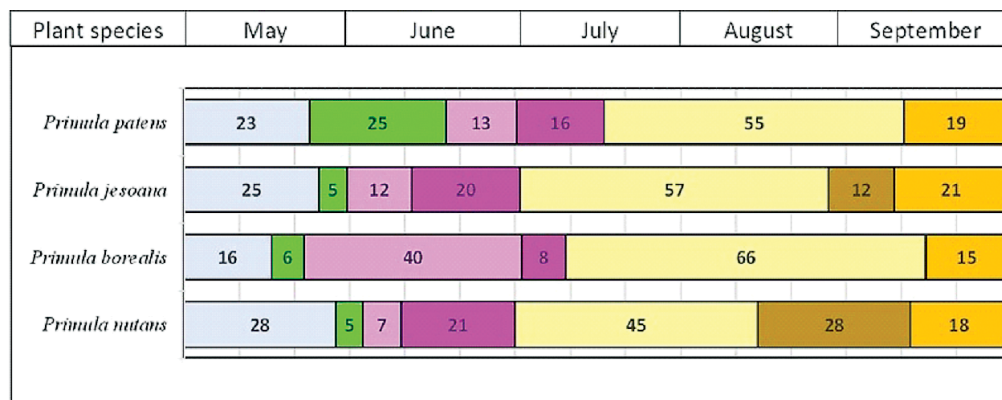
Primula jesoana (примула иезская) распространена в долинных широколиственных и смешанных лесах, по ручьям Приморья, северного и центрального Китая, Кореи и Японии [18].

Поступила семенами культурными в 1957 г. из г. Лейден (Нидерланды). Продолжительность нахождения на коллекционном питомнике составляет 21 год. Это многолетник высотой 14...26 см с коротким корневищем. Листья округло-почковидные со слабо выраженными мелкозубчатыми лопастями, сверху голые и гладкие, снизу тонко опушенные. Цветки диаметром 1,2...1,6 см. Плод — коробочка 7...9 мм длиной, продолговато-яйцевидная.

Отрастание *Primula jesoana* начиналось в конце мая. В среднем период вегетации данного вида составил 110 дней. Период бутонизации короткий, приходился на третью декаду мая. Цветение довольно продолжительное (20 дней), его начало — в середине июня. Фаза созревания семян около 57 дней (рис.).



Фенологический спектр сезонного развития изученных видов рода *Primula*



Phenological spectrum of seasonal development for *Primula* studied species

Primula nutans (примула поникающая). Ареал распространения: от тундровой до степной зоны, в горах в горнолесном поясе Сибири, Дальнего Востока, Монголии, запада Северной Америки (Уналашка, Юкон) и Гренландии. Встречается на сырых и солонцеватых лугах, кочкарниках, травяных болотах, на берегах рек и озер [23].

Впервые в ПАБСИ поступила семенами культурными из г. Гётеборг (Швеция) в 1948 г. Испытания растений продлились до 1954 г. Было еще несколько поступлений семян из Англии (г. Лестер, Ливерпуль) и Франции (г. Шампе), но растения в посадках просуществовали недолго, только вегетировали, поэтому из расчета баллов приживаемости и описания феноритмов исключены. Наиболее успешно интродукционное испытание прошли растения, выращенные из культурных семян, полученных из г. Тромсё (Норвегия) в 1981 г., именно они сохранились до настоящего времени. Многолетник высотой 15...22 см. Листья округлые или округлояйцевидные, цельнокрайние или с мелкими зубчиками, черешковые. Цветочные стрелки тонкие, удлинняющиеся. Цветки диаметром 1,7...2,0 см собраны в зонтиковидное соцветие. Плод — коробочка цилиндрическая, к вершине суженная.

Primula nutans начинала вегетировать в конце мая и заканчивала с наступлением устойчивых осенних заморозков в сентябре (см. рис.). Из всех изученных примул для нее характерна самая короткая (7 дней) фаза бутонизации (начало в первой декаде июня) и самая продолжительная фаза цветения (со второй декады июня до первой декады июля). Длительность фазы плодоношения составила в среднем 28 дней, начало приходилось на середину августа.

Primula patens (примула отклоненная) распространена от юга таежной до широколиственно-лесной зоны Забайкалья, Дальнего Востока, северо-востока Китая, Кореи и Японии [18].

Впервые в ПАБСИ поступила семенами культурными в 1962 г. из г. Турку (Финляндия) и г. Вильнюс (Литва). Выращенные растения испытывались на коллекционных питомниках в течение 4 лет. Это многолетнее растение высотой до 8 см, с овальными черешковыми крупнозубчатыми по краю листьями, собранными в прикорневую розетку. Цветочные стрелки тонкие, густо опушенные. Цветки пурпурные до 2,0 см в диаметре.

Primula patens вегетировала со второй декады мая до первых осенних заморозков. Бутонизация наступала поздно, во второй декаде июня, продолжаясь около двух недель. Цветение начиналось в первой декаде июля и длилось в среднем 16 дней. Стадия плодоношения отсутствовала (см. рис.).

Primula saxatilis (примула скальная). Ареал распространения: трещины известковых скал широколиственнолесной зоны юга Уссурийского края и п-ова Корея [18].

Впервые в ПАБСИ поступила культурными семенами в 1962 г. из поселка Торгун (Волгоградская область). При повторном испытании (2011 г.) использовались семена культурные из г. Тарту (Эстония). В коллекции растение высотой до 8 см, листья сердцевидно-овальные, по краю лопастные и неравнозубчатые, мохнато-волосистые. Растения просуществовали в коллекции только в вегетативном состоянии.

Таким образом, анализ фенологического спектра сезонного развития и основанного на нем расчета баллов приживаемости у изученных дальневосточных представителей рода *Primula* показал, что *Primula jesoana* (БП = 9) и *Primula nutans*, выращенная из семян, полученных от ботанических садов Швеции и Норвегии (БП = 11), относительно успешно адаптированы к региональным климатическим особенностям. Два других вида (*P. borealis*, *P. patens* (БП = 4))

слабо адаптированы к условиям региона. Испытание *Primula farinosa* (БП = 1,0) и *P. saxatilis* (БП = 1,5) из-за недостаточной продолжительности исследований необходимо продолжить.

Для результативности интродукции при перемещении растений в новые условия произрастания необходим правильный подбор районов их природного произрастания. Характер распространения вида — один из важнейших ботанико-географических параметров, дающих ключ к пониманию его формирования и развития.

Метод эколого-географического анализа был выполнен для 4 видов рода *Primula*. Виды и образцы, находящиеся в испытании на коллекционных питомниках менее 2 лет, из анализа исключены. Изученные виды распределены на 3 эколого-географические группы с учетом широтных и высотных пределов их естественного распространения (табл. 2).

Таблица 2

Приживаемость разных эколого-географических групп рода *Primula* в условиях Кольского полуострова

Эколого-географические группы	Виды	БП	ИК
A1 – виды, заходящие только в тундровую зону и альпийский пояс гор	<i>Primula borealis</i>	4,0	0,57
A4 – виды, заходящие от тундровой до степной зоны и в альпийский пояс гор	<i>P. nutans</i>	11,0	1,57
B9 – растения, заходящие от таежной до широколиственной зоны и в субальпийский пояс гор	<i>P. patens</i>	4,0	0,60
	<i>P. jesoana</i>	9,0	1,28

Table 2

Survival rate of different *Primula* ecological and geographical groups in the conditions of the Kola Peninsula

Ecological and geographical groups	Species	SP	IC
A1 – species of tundra zone and alpine belt of mountains	<i>Primula borealis</i>	4.0	0.57
A4 – species found in the tundra to the steppe zone and in the alpine belt of mountains	<i>P. nutans</i>	11.0	1.57
B9 – plants found in the taiga to the broad-leaved zone and in the subalpine belt of mountains	<i>P. patens</i>	4.0	0.60
	<i>P. jesoana</i>	9.0	1.28

Выявлено: чем выше интродукционный коэффициент, тем большее значение имеет соответствующая группа растений для целей интродукции. К условиям Заполярья более адаптированы растения от тундровой до степной эколого-географической зон (*Primula nutans* — ИК = 1,57) и некоторые представители таежной зоны, достигающие в горах субальпийского пояса (*P. jesoana* — ИК = 1,28). Менее приспособлены растения тундровой зоны, заходящие в горах в альпийский пояс (*P. borealis* — ИК = 0,57). Это позволяет заключить, что для дальнейшего научного и хозяйственного использования растений рода *Primula* в Кольской Субарктике следует привлекать виды, обитающие в природе в субальпийском и альпийском поясах гор.

Выводы

В результате интродукционных исследований 6 дальневосточных видов рода *Primula*, переселенных из различных эколого-географических районов земного шара на коллекционные питомники ПАБСИ, установлено, что в условиях Кольского Заполярья возможно успешное выращивание *Primula jesoana* (БП = 9) и *Primula nutans* (БП = 11), поскольку они обладают наибольшей адаптационной способностью к условиям региона.

Два других вида — *P. borealis*, *P. patens* (БП = 4)) слабо приспособлены к местным условиям. Для *Primula farinosa* (БП=1,0) и *P. saxatilis* (БП = 1,5), ввиду кратковременного участия в эксперименте (1—2 года), требуется продолжение интродукционных исследований.

Результаты эколого-географического анализа подтверждают наилучшую адаптированность к условиям Крайнего Севера *Primula nutans* (ИК = 1,57), произрастающей от тундровой до степной зоны, а также *P. jesoana* (ИК = 1,28) — вида таежной зоны, достигающего в горах субальпийского пояса. Менее приспособленным является вид *P. borealis* (ИК = 0,57), принадлежащий к растениям тундровой зоны, заходящий в горах в альпийский пояс.

Библиографический список

1. Тростенюк Н.Н., Святковская Е.А., Салтан Н.В., Гонтарь О.Б. Декоративные многолетники флоры Магаданской области в озеленении урбанизированных территорий Кольской Субарктики // Биологические проблемы Севера: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. памяти В.Л. Контримавичуса (Магадан, 18—22 сентября 2018 г.). Магадан, 2018. С. 143—146.
2. Федоров А.А. Семейства первоцветные — Primulaceae Vent. // Флора СССР. М.; Л., 1952. Т. 18. С. 108—292.
3. Аксенов Е.С., Аксенова Н.А. Декоративное садоводство для любителей и профессионалов: травянистые растения. М.: АСТ-пресс, 2001. 512 с.
4. Григорьева А.С. Изучение растений рода *Primula* на базе коллекции Ботанического сада СПб ГЛТА // Биологическое разнообразие, озеленение, лесопользование: сб. материалов Междунар. науч. - практ. Конф. молодых ученых, проходившей 11—12 ноября 2008 г. в Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии / под общ. ред. А.А. Егорова. СПб.: СПбГЛТА, 2009. С. 26—32.
5. Белоусова Н.Л. Интродукция видов сем. *Primulaceae* Vent. в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия мировой флоры: материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси, 19—22 июня 2012 г., Минск, Беларусь. Минск, 2012. Часть 1. С. 362—364.
6. Курочкина Н.Ю. Семенная продуктивность *Primula macrocalyx* Bunge в ЦСБС СО РАН // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. 2011. № 3 (98). Вып. 14. Ч. 1. С. 183—186.
7. Kovtonyuk N.K., Bogatyrev N.R., Ovchinnikov Yu.V. *Primula* Biodiversity Conservation in the Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia // Botanical Gardens Conservation News. 2000. № 3. Pp. 43—44.
8. Андреев Г.Н., Головкин Б.Н. Новые декоративные многолетники для Мурманской области // Декоративные растения и озеленение Крайнего Севера СССР. М.-Л., 1962. С. 79—85.
9. Практическое руководство по озеленению городов и поселков Мурманской области. Апатиты: Изд-во КФАН СССР, 1970. С. 38—75.
10. Андреев Г.Н., Казаков Л.А., Корабельникова О.А., Ложевская Л.И., Чуркина Т.И. К проекту промышленного ассортимента растений для озеленительных и лесных питомников Мурманской области // Агротехника декоративных растений на Севере. Апатиты. 1988. С. 28—40.
11. Иванова Л.А., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Северное цветоводство. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2004. 202 с.
12. Гонтарь О.Б., Жиров В.К., Казаков Л.А., Святковская Е.А., Тростенюк Н.Н. Зеленое строительство в городах Мурманской области. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2010. 226 с.

13. Тростенюк Н.Н., Святковская Е.А., Гонтарь О.Б., Носатенко О.Ю. Интродукция декоративных многолетних травянистых растений на Кольский Север // Цветоводство: история, теория, практика: материалы VII Междунар. науч. конф. (24—26 мая 2016, Минск, Беларусь). Минск: Конфидо, 2016. С. 214—217.
14. Головкин Б.Н. Интродукция первоцветов за Полярным кругом // Совещание по вопросам изучения и освоения растительных ресурсов СССР. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1968. С. 302—303.
15. Тростенюк Н.Н., Святковская Е.А., Салтан Н.В. Интродукционные испытания европейских видов рода в Полярно-альпийском ботаническом саду-институте // Самарский научный вестник. 2021. № 2. С. 104—110. doi: 10.17816/snv2021102116
16. Trostenyuk N., Sviatkovskaya E., Saltan N. Introduction studies of Caucasian species of the genus *Primula* L. in the Polar-Alpine Botanical Garden and Institute // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 24. doi: 10.1051/bioconf/20202400088
17. Семко А.П. Климатическая характеристика Полярно-альпийского ботанического сада // Флора и растительность Мурманской области. Л., 1972. С. 73—129.
18. Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 2. / отв. ред. С.С. Харкевич. Л.: Наука, 1985. 444 с.
19. Пробатова Н.С. Первоцветные — Primulaceae Vent // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 2. Л.: Наука, 1987. С. 139—151.
20. Бейдеман И.Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 130 с.
21. Методика фенологических наблюдений в ботанических садах СССР // Бюллетень Главного ботанического сада. 1979. Вып. 113. С. 3—8.
22. Головкин Б.Н. Переселение травянистых многолетников на Полярный Север. Л.: Наука, 1973. 268 с.
23. Аврорин Н.А. Переселение растений на Полярный Север. Эколого-географический анализ. М.—Л.: Наука, 1956. 286 с.
24. Трулевич Н.В. Экологофитоценотические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 215 с.

References

1. Trostenyuk NN, Svyatkovskaya EA, Saltan NV, Gontar OB. Ornamental perennials of the flora of the Magadan region in the landscaping of urban areas of the Kola Subarctic. In: *Biological problems of the North: conference proceedings*. 2018. p.143—146. (In Russ.)
2. Fedorov AA. Semeistva pervocvetnye — Primulaceae Vent. In: *Flora SSSR [Flora of the USSR]*. Vol. 18. Moscow; 1952. p.108—292. (In Russ.)
3. Aksenov ES, Aksenova NA. *Dekorativnoe sadovodstvo dlya lyubitelei i professionalov: travyanistye rasteniya* [Ornamental gardening for amateurs and professionals: herbaceous plants]. Moscow: AST-press publ.; 2001. (In Russ.)
4. Grigorieva AS. The study of plants from *Primula* genus in the collection of Botanical Garden of St. Petersburg GLTA. In: Egorov AA. (ed.) *Biological diversity, landscaping, forest use: conference proceedings*. Saint Petersburg: SPBGLTA publ.; 2009. p.26—32. (In Russ.)
5. Belousova NL. Introduction of Primulaceae vent. species in the central botanical garden of the NAS of Belarus. In: *Introduction, conservation and use of the biological diversity of the world flora: conference proceedings. Part 1*. Minsk; 2012. p. 362—364. (In Russ.)
6. Kurochkina NY. Seed productivity of *Primula macrocalyx* bunge in Central Siberian botanical garden. *Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences*. 2011;(14—1):183—186. (In Russ.)
7. Kovtonyuk NK, Bogatyrev NR, Ovchinnikov YV. *Primula* biodiversity conservation in the Central Siberian Botanical Garden, Novosibirsk, Russia. *Botanical Gardens Conservation News*. 2000;(3):43—44.
8. Andreev GN, Golovkin BN. New ornamental perennials for the Murmansk region. In: *Dekorativnye rasteniya i ozelenenie Krajnego Severa SSSR* [Ornamental plants and landscaping of the Far North of the USSR]. Moscow; 1962. p.79—85. (In Russ.)
9. Kozuleeva TA. *Prakticheskoe rukovodstvo po ozeleneniyu gorodov i poselkov Murmanskoy oblasti* [A practical guide to planting greenery in cities and towns of the Murmansk region]. Apatity: KFAN SSSR publ.; 1970. p.38—75. (In Russ.)
10. Andreev GN, Kazakov LA, Korabelnikova OA, Lozhevskaya LI, Churkina TI. Project of the industrial assortment of plants for landscaping and forest nurseries of the Murmansk region. In: *Agrotekhnikha dekorativnykh rastenij na Severe* [Agrotechnics of ornamental plants in the North]. Apatity; 1988. p. 28—40. (In Russ.)

11. Ivanova LA, Svyatkovskaya EA, Trostenyuk NN. *Severnoe cvetovodstvo* [Northern floriculture]. Apatity: Kola centre of RAN publ.; 2004. (In Russ.)
12. Gontar OB, Zhirov VK, Kazakov LA, Svyatkovskaya EA, Trostenyuk NN. *Zelenoe stroitel'stvo v gorodah Murmanskoy oblasti* [Green building in the cities of the Murmansk region]. Apatity: Kola centre of RAN publ.; 2010. (In Russ.)
13. Trostenyuk NN, Svyatkovskaya EA, Gontar OB, Nosatenko OY. Introduction of ornamental perennial herbaceous plants to the Kola North. In: *Floriculture: history, theory, practice: conference proceedings*. Minsk: Konfido publ.; 2016. p.214—217. (In Russ.)
14. Golovkin BN. Introduction of primroses beyond the Arctic Circle. In: *Conference on the study and development of plant resources of the USSR*. Novosibirsk: Nauka publ; 1968. p.302—303. (In Russ.)
15. Trostenyuk NN, Svyatkovskaya EA, Saltan NV. Introduction studies of European species of the genus *Primula* L. in the Polar-Alpine Botanical Garden-Institute. *Samara journal of science*. 2021;10(2):104—110. doi: 10.17816/snv2021102116
16. Trostenyuk N, Svyatkovskaya E, Saltan N. Introduction studies of Caucasian species of the genus *Primula* L. in the Polar-Alpine Botanical Garden and Institute. *BIO Web of Conferences*. 2020;24:00088. doi: 10.1051/bioconf/20202400088
17. Semko AP. Climatic characteristics of the Polar-Alpine Botanical Garden. In: *Flora i rastitel'nost' Murmanskoy oblasti* [Flora and vegetation of the Murmansk region]. Leningrad; 1972. p.73—129. (In Russ.)
18. Harkevich SS. (ed.) *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka*. T. 2. [Vascular plants of the Soviet Far East. Vol. 2.]. Leningrad: Nauka publ.; 1985. (In Russ.)
19. Probatova NS. Primroses—Primulaceae Vent. In: *Sosudistye rasteniya sovetskogo Dal'nego Vostoka*. T. 2. [Vascular plants of the Soviet Far East. Vol. 2.]. Leningrad: Nauka publ.; 1987. p.139—151. (In Russ.)
20. Bejdeman IN. *Metodika fenologicheskikh nablyudenii pri geobotanicheskikh issledovaniyakh* [Methods of phenological observations in geobotanical research]. Moscow: AN SSSR publ.; 1954. (In Russ.)
21. *Metodika fenologicheskikh nablyudenii v botanicheskikh sadakh SSSR* [Methods of phenological observations in the botanical gardens of the USSR]. *Bulletin Main botanical garden*. 1979;113:3—8. (In Russ.)
22. Golovkin BN. *Pereselenie travyanistykh mnogoletnikov na Polyarnyi Sever* [Migration of herbaceous perennials to the Polar North]. Leningrad: Nauka publ.; 1973. (In Russ.)
23. Avrorin NA. *Pereselenie rastenii na Polyarnyi Sever. Ekologo-geograficheskii analiz* [Migration of plants to the Polar North. Ecological and geographical analysis]. Moscow: Nauka publ.; 1956. (In Russ.)
24. Trulevich NV. *Ekologofitotsenoticheskie osnovy introduksii rastenii* [Ecological and phytocenotic bases of plant introduction]. Moscow: Nauka publ.; 1991. (In Russ.)

Об авторах:

Тростеньюк Надежда Николаевна — научный сотрудник лаборатории интродукции и акклиматизации растений, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Полярно-альпийский ботанический сад-институт» Кольского научного центра РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: tnn_aprec@mail.ru

ORCID: 0000-0002-6574-9624

SPIN-код: 4462-9233

Святковская Екатерина Александровна — научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Полярно-альпийский ботанический сад-институт» Кольского научного центра РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: sviatkovskaya@mail.ru

ORCID: 0000-0002-4069-7020

SPIN-код: 3143-2491

Салтан Наталья Владимировна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории декоративного цветоводства и озеленения, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Полярно-альпийский ботанический сад-институт» Кольского научного центра РАН, Российская Федерация, 184209, Мурманская область, г. Апатиты, мкрн. Академгородок, д. 18а; e-mail: saltan.natalya@mail.ru

ORCID: 0000-0002-5905-9774

SPIN-код: 6405-0697

About of Authors:

Trostenyuk Nadezhda Nikolaevna— Researcher, Laboratory of Plant Introduction and Acclimatization, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Academgorodok, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; e-mail: tnn_aprec@mail.ru
ORCID: 0000-0002-6574-9624; SPIN-code: 4462-9233

Sviatkovskaya Ekaterina Alexandrovna— Researcher, Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Academgorodok, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; e-mail: sviatkovskaya@mail.ru
ORCID: 0000-0002-4069-7020; SPIN-code: 3143-2491

Saltan Natalia Vladimirovna— Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Decorative Floriculture and Landscaping, Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 18a Academgorodok, Apatity, Murmansk Region, 184209, Russian Federation; e-mail: saltan.natalya@mail.ru
ORCID: 0000-0002-5905-9774; SPIN-code: 6405-0697








ЖИВОТНОВОДСТВО Animal breeding

DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-193-202

УДК 619:616

Научная статья / Research article


Особенности функционального состояния организма овец при стрессе

Ю.А. Юлдашбаев¹ , Ю.А. Ватников² ,
П.А. Руденко^{2,3}  , А.А. Руденко^{2,4} 

¹Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,
г. Москва, Российская Федерация

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

³Филиал института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина
и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук, г. Пуцдино, Российская Федерация

⁴Московский государственный университет пищевых производств,
г. Москва, Российская Федерация
 pavelrudenko76@yandex.ru

Аннотация. Стрессы, возникающие у животных при проведении рутинных животноводческих процедур, таких как доение, стрижка, взвешивание, погрузка и уход за копытами, — актуальная проблема животноводства. Компонентами экономического ущерба от стрессов являются снижение общей резистентности и продуктивности, ухудшение качества продукции, возрастание затрат труда и средств на единицу продукции, рост заболеваемости и смертности животных. Исследования проведены на базе племенного хозяйства ООО «Белозерное» Сальского района Ростовской области. Комплекс клинико-лабораторных ис-

© Юлдашбаев Ю.А., Ватников Ю.А., Руденко П.А., Руденко А.А., 2022



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

следований выполнен на 18 овцах (10 романовской и 8 цигайской породы) в возрасте от 2 до 3 лет, до и после проведения плановой рутинной стрижки. Стресс у овец, обусловленный плановой стрижкой, клинически проявлялся общим угнетением, в некоторых случаях — субфебрильным повышением температуры тела, умеренным тахипноэ и тахикардией. Показано, что стресс сопровождается анемией, развитием эритропении и лейкопении. Анализом иммунокомпетентных клеток в крови опытных животных при развитии стресса установлено, что после стрижки возникает выраженная лимфоцитопения. В крови опытных животных при стрессе отмечали тенденцию к снижению Т-общих клеток, что сопровождалось увеличением 0-клеток, которое у овец цигайской породы носило достоверный характер ($p < 0,05$). При анализе основных иммунорегуляторных Т-клеток в исследуемой крови овец при стрессе при относительно стабильном уровне Т-хелперов выявлено достоверное ($p < 0,05$) увеличение Т-супрессоров: у романовской — в 1,15, у цигайской в 1,19 раза по сравнению с исходными данными. Существенных отличий в развитии стресса после проведения стрижки у животных романовской и цигайской пород не обнаружено. Полученные данные необходимо учитывать в дальнейших поисках методов коррекции стресса у овец.






Ключевые слова: стресс, стрижка, гематологические анализы, овцы, романовская порода, цигайская порода

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

История статьи: поступила в редакцию 19 апреля 2022 г., принята к публикации 25 мая 2022 г.

Для цитирования: Юлдашбаев Ю.А., Ватников Ю.А., Руденко П.А., Руденко А.А. Особенности функционального состояния организма овец при стрессе // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 193—202. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-193-202

Features of the functional state of the organism of sheep under stress

Yusupzhan A. Yuldashbaev¹ , Yuri A. Vatnikov² ,
Pavel A. Rudenko^{2,3}  , Andrey A. Rudenko^{2,4} 

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

²RUDN University, Moscow, Russian Federation;

³Branch of Shemyakin—Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation;

⁴Moscow State University of Food Production,
Moscow, Russian Federation

 pavelrudenko76@yandex.ru

Abstract. The stresses that arise during routine animal husbandry procedures, such as milking, shearing, weighing, loading and hoof care, are an actual problem in animal husbandry. The components of economic damage under stress are a decrease in overall resistance and productivity, deterioration in product quality, an increase in labor costs and funds per unit of production, an increase in animal morbidity and mortality. The studies were carried out on the basis of ‘Belozerno’ farm in the Salsky district, the Rostov region. A complex of clinical and laboratory studies was performed on 18 sheep (10 Romanov and 8 Tsigay breeds) aged 2 to 3 years, before and after a planned routine shearing. Stress in sheep caused by planned shearing was clinically manifested by

general depression, in some cases, subfebrile fever, moderate tachypnea and tachycardia. It was shown that stress was accompanied by anemia, the development of erythropenia and leukopenia. Immunocompetent cells in the blood of experimental animals during stress development were analyzed. Severe lymphocytopenia was found to occur after a haircut. In addition, in the blood of experimental animals under stress, a tendency to a decrease in T-total cells was noted, which was accompanied by an increase in O-cells, which was significant in sheep of the Tsigay breed ($p < 0.05$). When analyzing the main immunoregulatory T cells in sheep under stress, a significant increase in T-suppressors was revealed with a relatively stable level of T-helpers in the blood studied. Thus, a significant ($p < 0.05$) increase in the level of T-suppressors in sheep of Romanov and Tsigay breeds was recorded; it was by 1.15 and 1.19 times higher compared with the initial data. It should be noted that we did not find any significant differences between animals of Romanov and Tsigay breeds in stress development after shearing. The obtained data should be taken into account in the further search for methods of stress correction in sheep.

Key words: stress, shearing, hematological analytes, sheep, Romanov breed, Tsigay breed

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

Article history: Received: 19 April 2022. Accepted: 25 May 2022

For citation: Yuldashbaev YA, Vatnikov YA, Rudenko PA, Rudenko AA. Features of the functional state of the organism of sheep under stress. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):193–202. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-193-202

Введение

Основная задача оптимизации ветеринарного обслуживания — снижение заболеваемости и падежа благодаря своевременной профилактике и совершенствованию мер борьбы с различными патологиями, а также корригирование благополучия и содержания животных, играющее решающую роль в улучшении качества их жизни [1—5]. Благополучие, рост и производительность животных модулируются условиями окружающей среды и условиями их содержания и могут существенно влиять на качество и количество животноводческой продукции. Поскольку потребность человека от продуктов животного происхождения, таких как молоко, мясо и яйца для питания, экспоненциально растет, существует настоятельная необходимость в максимальном их производстве. Высокопродуктивные животные находятся под огромным метаболическим давлением, что делает их более восприимчивыми к неблагоприятным условиям внешней среды [6—8]. При воздействии стресса сельскохозяйственный скот демонстрирует различные поведенческие и физиологические акклиматизации в качестве основных стратегий выживания, но за счет снижения своей продуктивности [9, 10].

По мере развития цивилизации изучение стресса и его роли в механизмах адаптации биологических систем к изменяющимся условиям существования приобретают большой вес как в сфере фундаментальных, так и прикладных наук [11—13]. В настоящее время стрессы, которые возникают у животных при проведении рутинных животноводческих процедур (доение, стрижка, взвешивание, погрузка и уход за копытами), составляют актуальную проблему животноводства. Стресс-реакции животных наносят сельскому хозяйству значительный экономический ущерб, исчисляемый сотнями миллионов рублей. Компонентами экономического ущерба при стрессах являются снижение общей резистентности

одновременно у большого количества животных, что сопровождается расстройством функций органов пищеварения, дыхания, сердечно-сосудистой и нервной систем. Резко снижается продуктивность животных, ухудшается качество продукции, возрастают затраты труда и средств на единицу продукции, растет процент заболеваемости и смертности животных [14–17].

Благополучие животных следует оценивать с использованием ряда функциональных показателей: поведенческих, физиологических и гематологических анализов [18–20]. Отдельные функциональные показатели могут являться маркерными показателями стресса в том смысле, что они связаны с долгосрочными неблагоприятными последствиями, влекущими снижение продуктивности животных. Нормальное функциональное состояние животного является важной частью его благополучия, поэтому любые отклонения от референсных значений при стрессе помогут впоследствии выработать методы регуляции стресс-реакций у животных.

Цель исследования — поиск патогенетических маркерных показателей стресса при стрижке у овец, их сравнительный анализ у животных романовской и цигайской пород для последующего совершенствования методов борьбы со стрессом.

Материал и методы исследований

Исследования проведены на базе племенного хозяйства ООО «Белозерное» Сальского района Ростовской области с общим поголовьем овец 956. Комплекс клиничко-лабораторных исследований выполнен на 18 овцах (10 романовской и 8 цигайской породы) в возрасте от 2 до 3 лет, до и после проведения плановой рутинной стрижки. Опытные животные в период исследования находились в одинаковых условиях и имели одинаковый рацион.

Перед стрижкой овец выдерживали на 12-часовой голодной диете. Стрижку овец выполнял профессиональный стригаль в теплый, безветренный и сухой день с помощью стригальной машинки МСУ-200 на базе электростригального токобезопасного агрегата ЭСА-12/200, общепринятыми методами.

При клиническом исследовании овец обращали внимание на общее состояние, температуру тела, частоту сердечных сокращений и дыхание.

Наряду с клиническими исследованиями проводили общий анализ крови с использованием ветеринарного автоматического гематологического анализатора URIT-2900 Vet Plus (Китай) общепринятыми методами. Общее количество Т-лимфоцитов определяли методом спонтанного розеткообразования с эритроцитами барана. Количество теofilлинчувствительных Т-лимфоцитов (Т-супрессоры) определяли по разнице между количеством теofilлинрезистентных Т-клеток (Т-хелперы) и Т-лимфоцитов. Иммунорегуляторный индекс (ИРИ) рассчитывали по соотношению Т-хелперы / Т-супрессоры. Число 0-клеток подсчитывали по разнице суммы количества Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов методом комплементарного розеткообразования от общего количества лимфоцитов.

Результаты полученных исследований обрабатывали статистически и представляли в виде таблиц. Перед проведением статистических расчетов оценивали

нормальность распределения цифровых гематологических показателей с помощью теста Шапиро — Уилкса. При нормальном распределении переменных для сравнения двух групп применяли t-тест Стьюдента для независимых или зависимых выборок. Достоверность разницы показателей между показателями до и после стрижки рассчитывали по методу Манна — Уитни. Все расчеты делали на персональном компьютере с помощью статистической программы STATISTICA 7.0 (StatSoft, USA).

Результаты исследования и обсуждение

Овцы весьма чувствительны к стрессовым ситуациям и плохо его переносят. Для овец стресс-факторами являются резкая смена температуры, шум, недостаток и низкое качество корма или воды, а также рутинные животноводческие процедуры (доение, стрижка, взвешивание, погрузка и уход за копытами).

Результаты клинического обследования овец до и после стрижки приведены в табл. 1. Стресс у овец, обусловленный плановой стрижкой, клинически проявлялся общим угнетением, в некоторых случаях — субфебрильным повышением температуры тела, умеренным тахипноэ и тахикардией.

Таблица 1

Основные физиологические показатели овец до и после стрижки

Показатели	Порода	n	Опытные животные	
			До стрижки	После стрижки
Температура тела, °C	I	10	39,57±0,26	39,75±0,22
	II	8	39,65±0,17	40,04±0,14
ЧСС, мин	I	10	77,42±1,91	84,77±1,73*
	II	8	80,51±1,03	85,52±1,23**
ЧД, мин	I	10	40,71±1,42	46,77±1,90*
	II	8	40,87±1,31	44,87±1,24*

Примечание: ЧСС — частота сердечных сокращений; ЧД — частота дыхания; I — романовская порода; II — цыгайская порода; n — количество животных в группе; * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$.

Table 1

Basic physiological parameters of sheep before and after shearing

Indicators	Breed	n	Sheep	
			Before haircut	After haircut
Body temperature, °C	I	10	39.57±0.26	39.75±0.22
	II	8	39.65±0.17	40.04±0.14
HR, min	I	10	77.42±1.91	84.77±1.73*
	II	8	80.51±1.03	85.52±1.23**
RR, min	I	10	40.71±1.42	46.77±1.90*
	II	8	40.87±1.31	44.87±1.24*

Note: HR — heart rate; RR — respiratory rate; I — Romanov breed; II — Tsigay breed; n — number of animals in the group. * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$.

Так, у овец романовской и цыгайской пород после проведения стрижки наблюдали достоверное увеличение ЧСС в 1,09 ($p < 0,05$) и 1,06 ($p < 0,01$) раза, а также ЧД в 1,14 ($p < 0,05$) и 1,09 ($p < 0,05$) раза соответственно.

Клетки млекопитающих реагируют на стресс, активируя механизмы, которые поддерживают клеточные функции, и, следовательно, адаптируют гомеостаз организма к новым условиям. Изучение внутриклеточных реакций на стресс откроет дополнительные возможности к их регуляции. Динамика гематологических показателей у овец при стрессе приведена в табл. 2.

Таблица 2

Влияние стрижки на гематологические показатели овец

Показатели	Порода	n	Опытные животные	
			До стрижки	После стрижки
Гемоглобин, г/л	I	10	112,25±1,12	97,23±1,01***
	II	8	109,33±1,04	99,67±1,25***
Эритроциты, Т/л	I	10	4,26±0,12	3,77±0,09**
	II	8	4,41±0,14	3,82±0,16*
ЦП, усл. ед.	I	10	0,89±0,07	0,73±0,09
	II	8	0,85±0,04	0,69±0,08
Лейкоциты, Г/л	I	10	7,75±0,16	6,87±0,19**
	II	8	7,61±0,26	6,53±0,23**
Эозинофилы, %	I	10	1,59±0,17	1,92±0,11
	II	8	1,47±0,11	1,88±0,18
Лимфоциты, %	I	10	46,82±1,32	41,64±1,33*
	II	8	45,64±1,27	40,87±1,21*
Т-общие, %	I	10	53,37±1,16	50,84±1,28
	II	8	52,66±1,34	49,16±1,48
Т-хелперы, %	I	10	36,42±1,27	36,59±1,41
	II	8	36,17±1,22	36,47±1,34
Т-супрессоры, %	I	10	14,59±0,73	16,85±0,67*
	II	8	14,49±0,64	17,23±0,76*
ИРИ	I	10	2,49±0,37	2,17±0,28
	II	8	2,50±0,24	2,12±0,37
0-клетки, %	I	10	24,56±1,18	27,64±1,22
	II	8	25,67±1,14	30,07±1,17*
В-общие, %	I	10	22,07±1,19	21,52±1,16
	II	8	21,67±1,23	20,84±1,13

Примечание. ЦП – цветной показатель; ИРИ – иммунорегуляторный индекс; I – романовская порода; II – цыгайская порода; n – количество животных в группе; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Table 2

Effect of shearing on hematological parameters of sheep

Indicators	Breed	n	Sheep	
			Before haircut	After haircut
Hemoglobin, g/l	I	10	112.25±1.12	97.23±1.01***
	II	8	109.33±1.04	99.67±1.25***
Red blood cells, T/l	I	10	4.26±0.12	3.77±0.09**
	II	8	4.41±0.14	3.82±0.16*
Cl, conv. units	I	10	0.89±0.07	0.73±0.09
	II	8	0.85±0.04	0.69±0.08
Leukocytes, G/l	I	10	7.75±0.16	6.87±0.19**
	II	8	7.61±0.26	6.53±0.23**

Indicators	Breed	n	Sheep	
			Before haircut	After haircut
Eosinophils,%	I	10	1.59±0.17	1.92±0.11
	II	8	1.47±0.11	1.88±0.18
Lymphocytes,%	I	10	46.82±1.32	41.64±1.33*
	II	8	45.64±1.27	40.87±1.21*
T-total,%	I	10	53.37±1.16	50.84±1.28
	II	8	52.66±1.34	49.16±1.48
T-helpers,%	I	10	36.42±1.27	36.59±1.41
	II	8	36.17±1.22	36.47±1.34
T-suppressors,%	I	10	14.59±0.73	16.85±0.67*
	II	8	14.49±0.64	17.23±0.76*
IRI	I	10	2.49±0.37	2.17±0.28
	II	8	2.50±0.24	2.12±0.37
0-cells,%	I	10	24.56±1.18	27.64±1.22
	II	8	25.67±1.14	30.07±1.17*
B-total,%	I	10	22.07±1.19	21.52±1.16
	II	8	21.67±1.23	20.84±1.13

Note: CI – color indicator; IRI – immunoregulatory index; I – Romanov breed; II – Tsigay breed; n – number of animals in the group; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что стресс сопровождается анемией, при этом у овец романовской и цигайской пород после проведения стрижки наблюдали высокодостоверное ($p < 0,001$) снижение уровня гемоглобина в 1,15 раза, с $112,25 \pm 1,12$ до $97,23 \pm 1,01$ г/л, и в 1,09 раза, с $109,33 \pm 1,04$ до $99,67 \pm 1,25$ г/л, соответственно по сравнению с показателями животных до стрижки. При развитии стресса, обусловленного стрижкой у животных, наблюдали развитие эритропении, при этом после проведения рутинной процедуры регистрировали достоверное снижение уровня эритроцитов у овец романовской породы в 1,13 раза ($p < 0,01$), с $4,26 \pm 0,12$ по $3,77 \pm 0,09$ Т/л, и у животных цигайской породы в 1,15 раза ($p < 0,05$), с $4,41 \pm 0,14$ по $3,82 \pm 0,16$ Т/л, по сравнению с исходными данными.

У опытных животных при развитии стресса также наблюдали и развитие лейкопении, которая сопровождалась у овец романовской и цигайской пород после проведения стрижки достоверным ($p < 0,01$) снижением в крови уровня лейкоцитов в 1,13 и 1,16 раза соответственно.

Анализ иммунокомпетентных клеток в крови опытных животных при развитии стресса показал, что после стрижки возникает выраженная лимфоцитопения, которая сопровождается у овец романовской и цигайской пород достоверным ($p < 0,05$) снижением уровня лимфоцитов в 1,12 и 1,11 раза соответственно по сравнению с показателями крови животных до стрижки.

Кроме этого в крови опытных животных при стрессе отмечали тенденцию к снижению Т-общих клеток, что сопровождалось увеличением 0-клеток, которое у овец цигайской породы — в 1,17 раза, с $25,67 \pm 1,14$ до $30,07 \pm 1,17$ %, — носило достоверный характер ($p < 0,05$). При анализе основных иммунорегуляторных Т-клеток у овец при стрессе выявлено достоверное увеличение Т-супрессоров при относительно стабильном уровне Т-хелперов в исследуемой крови. Так, у овец романовской и цигайской пород регистрировали достоверное ($p < 0,05$) увеличение

уровня Т-супрессоров в 1,15 раза, с $14,59 \pm 0,73$ до $16,85 \pm 0,67$ %, и в 1,19 раза, с $14,49 \pm 0,64$ по $17,23 \pm 0,76$ % соответственно по сравнению с исходными данными.

Итак, стресс у овец от проведения рутинных животноводческих процедур сопровождается существенным снижением общей резистентности организма: общим угнетением, в некоторых случаях субфебрильным повышением температуры тела, умеренным тахипноэ и тахикардией, анемией, развитием эритропении, лейкопении, лимфоцитопении, а также увеличением уровня Т-супрессоров.

Заключение

Стресс у овец, обусловленный плановой стрижкой, клинически проявлялся общим угнетением, в некоторых случаях — субфебрильным повышением температуры тела, умеренным тахипноэ и тахикардией. Показано, что стресс сопровождается анемией, развитием эритропении и лейкопении. Анализ иммунокомпетентных клеток в крови опытных животных подтвердил выраженную лимфоцитопению. Также в крови опытных животных при стрессе отмечены тенденция к снижению Т-общих клеток и увеличение 0-клеток, которое у овец цигайской породы носило достоверный характер ($p < 0,05$). Анализ основных иммунорегуляторных Т-клеток выявил достоверное увеличение Т-супрессоров при относительно стабильном уровне Т-хелперов в исследуемой крови: у овец романовской и цигайской пород регистрировали достоверное ($p < 0,05$) увеличение уровня Т-супрессоров в 1,15 и 1,19 раза соответственно по сравнению с исходными данными. Следует отметить, что в наших исследованиях не обнаружено существенных отличий между животными романовской и цигайской пород при развитии стресса после проведения стрижки. Полученные данные необходимо учитывать при дальнейшем поиске методов коррекции стресса у овец.

Библиографический список / References

1. Noguera JC, Kim SY, Velando A. Family-transmitted stress in a wild bird. *Proc Natl Acad Sci*. 2017; 114(26):6794—6799. doi: 10.1073/pnas.1706164114
2. Palikov VA, Palikova YA, Borozdina NA, Nesmeyanova EN, Rudenko PA, Kazakov VA, Kalabina EA, Bukatin MV, Zharmukhamedova TYu, Khokhlova ON, Dyachenko IA. A novel view of the problem of Osteoarthritis in experimental rat model. *Research Results in Pharmacology*. 2020;6(2):19—25. doi: 10.3897/rpharmacology.6.51772
3. Rudenko P, Sachivkina N, Vatnikov Y, Shabunin S, Engashev S, Kontsevaya S, Karamyan A, Bokov D, Kuznetsova O, Vasilieva E. Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation. *Veterinary World*. 2021;14(1):40—48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48
4. Vatnikov Y, Donnik I, Kulikov E, Karamyan A, Notina E, Bykova I, Bannoud G, Bondareva I, Shlindova E, Sotnikova E, Lenchenko E, Rudenko A, Rudenko V, Rudenko P. Effectiveness of *Hypericum perforatum* L. phytosorbent as a part of complex therapy for acute non-specific bronchopneumonia. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(S.1):1108—1116. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.165
5. Arnaud F, Pappas G, Chen Y, Maudlin-Jeronimo E, McCarron R. Effect of acute restraint stress in a polytrauma rat model. *Neurosci Lett*. 2018;684:91—97. doi: 10.1016/j.neulet.2018.07.006
6. Frankham R. Stress and adaptation in conservation genetics. *J Evol Biol*. 2005;18(4):750—755. doi: 10.1111/j.1420—9101.2005.00885.x
7. Vatnikov Y, Yousefi M, Engashev S, Rudenko P, Lutsay V, Kulikov E, Karamyan A, Dremova T, Tadzhieva A, Strizhakov A, Kuznetsov V, Yagnikov S. Clinical and hematological parameters for selecting the optimal dose

of the phytopreparation «Deprim», containing an extract of the herb *Hypericum perforatum* L., in husbandry. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(S.1):2731—2742. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.401

8. Chen M, Xie S. Therapeutic targeting of cellular stress responses in cancer. *Thorac Cancer*. 2018; 9(12):1575—1582. doi: 10.1111/1759-7714.12890

9. Banerjee B, Khrystoforova I, Polis B, Zvi IB, Karasik D. Acute hypoxia elevates arginase 2 and induces polyamine stress response in zebrafish via evolutionarily conserved mechanism. *Cell Mol Life Sci*. 2021;79(1):41. doi: 10.1007/s00018-021-04043-x

10. Yardimci M, Sahin EH, Cetingul IS, Bayram I, Aslan R, Sengor E. Stress responses to comparative handling procedures in sheep. *Animal*. 2013;7(1):143—150. doi: 10.1017/S 1751731112001449

11. Broom DM. Transport stress in cattle and sheep with details of physiological, ethological and other indicators. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*. 2003; 110(3):83—89.

12. Escribano D, Horvatić A, Contreras-Aguilar MD, Guillemín N, Cerón JJ, Lopez-Arjona M, Hevia ML, Eckersall PD, Manteca X, Mrljak V. Identification of possible new salivary biomarkers of stress in sheep using a high-resolution quantitative proteomic technique. *Res Vet Sci*. 2019;124:338—345. doi: 10.1016/j.rvsc.2019.04.012

13. Gong S, Miao YL, Jiao GZ, Sun MJ, Li H, Lin J, Luo MJ, Tan JH. Dynamics and correlation of serum cortisol and corticosterone under different physiological or stressful conditions in mice. *PLoS One*. 2015;10(2): e0117503. doi: 10.1371/journal.pone.0117503

14. Hemsworth PH, Rice M, Borg S, Edwards LE, Ponnampalam EN, Coleman GJ. Relationships between handling, behaviour and stress in lambs at abattoirs. *Animal*. 2019;13(6):1287—1296. doi: 10.1017/S 1751731118002744

15. Karthik D, Suresh J, Reddy YR, Sharma GRK, Ramana JV, Gangaraju G, Reddy YPK, Yasaswini D, Adegbeye M J, Reddy PRK. Farming systems in sheep rearing: Impact on growth and reproductive performance, nutrient digestibility, disease incidence and heat stress indices. *PLoS One*. 2021;16(1): e0244922. doi: 10.1371/journal.pone.0244922

16. Tozlu Çelik H, Aslan FA, Us Altay D, Kahveci ME, Konanç K, Noyan T, Ayhan S. Effects of transport and altitude on hormones and oxidative stress parameters in sheep. *PLoS One*. 2021;16(2): e0244911. doi: 10.1371/journal.pone.0244911

17. Wankar AK, Rindhe SN, Doijad NS. Heat stress in dairy animals and current milk production trends, economics, and future perspectives: the global scenario. *Trop Anim Health Prod*. 2021;53(1):70. doi: 10.1007/s11250-020-02541-x

18. Henrique FL, Bezerra HVA, Polato HZ, Fernandes AC, Zanella AJ, Alves MBR, Celeghini ECC, Batissaco L, Strefezzi RFS, Pulido-Rodríguez LF, Hooper HB, Titto CG. Maternal stress in sheep during late pregnancy influences sperm quality in early puberty of the offspring. *Theriogenology*. 2020;145:158—166. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.10.008

19. Carnevali L, Montano N, Tobaldini E, Thayer JF, Sgoifo A. The contagion of social defeat stress: Insights from rodent studies. *Neurosci Biobehav Rev*. 2020; 111:12—18. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.01.011

20. Grzelak AK, Davis DJ, Caraker SM, Crim MJ, Spitsbergen JM, Wiedmeyer CE. Stress leukogram induced by acute and chronic stress in zebrafish. *Comp Med*. 2017;67(3):263—269.

Об авторах:

Юлдашбаев Юсупжан Артыкович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, декан факультета зоотехнии и биологии, профессор кафедры частной зоотехнии, РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: zoo@rgau-msha.ru
ORCID: 0000-0002-7150-1131

Ватников Юрий Анатольевич — доктор ветеринарных наук, профессор, директор департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов (РУДН), Российская Федерация, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: vatnikov@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-0036-3402

Руденко Павел Анатольевич — доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний, Филиал Института биоорганической химии им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН (ФИБХ РАН), Российская Федерация, 142290, Московская область, г. Пущино, пр. Науки, д. 6; доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов (РУДН), Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: pavelrudenko76@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0418-9918

Руденко Андрей Анатольевич — доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарной медицины, Московский государственный университет пищевых производств (МГУПП), Российская Федерация, 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; доцент департамента ветеринарной медицины аграрно-технологического института, Российский университет дружбы народов (РУДН), Российская Федерация, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: vetrudek@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-6434-3497

About authors:

Yuldashbaev Yusupzhan Artykovich — RAS Academician (Full Member), Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of Institute of Zootechnics and Biology, Professor, Department of Private Animal Science, *Russian State Agrarian University* — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: zoo@rgau-msha.ru

Vatnikov Yuri Anatolievich — Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Director of Veterinary Medicine Department, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: vatnikov@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-0036-3402

Rudenko Pavel Anatolievich — Doctor of Veterinary Sciences, Leading researcher, Biological Testing Laboratory, Branch of Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, 6 Nauki av., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation; Associate Professor; Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: pavelrudenko76@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0418-9918

Rudenko Andrey Anatolievich — Doctor of Veterinary Sciences, Professor; Department of Veterinary Medicine, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoye highway, Moscow, 125080, Russian Federation; Associate Professor, Department of Veterinary Medicine, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: vetrudek@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-0418-9918



Ветеринария Veterinary science


DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-203-209

УДК 619:615.356:636

Научная статья / Research article

Микроэлементный статус высокопродуктивных коров при различном физиологическом состоянии в условиях повышенной техногенной нагрузки

О.С. Дрожжин  , В.В. Шипилов 

Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, г. Воронеж, Российская Федерация
 icrsa@mail.ru

Аннотация. Значительную роль в поддержании и интенсификации обменных и регуляторных процессов в организме животных играют микроэлементы, являющиеся их активными участниками. Для более полного изучения обеспеченности организма высокопродуктивных животных микроэлементами и диагностики нарушения обмена веществ, особенно в условиях антропогенной нагрузки, необходимо проведение биохимических исследований крови. Приведены результаты исследований по содержанию микроэлементов (железа, меди, цинка, марганца) в цельной крови коров двух хозяйств Воронежской области, одно из которых (хозяйство 2) находится в зоне с повышенной техногенной нагрузкой. В цельной крови определяли содержание железа, меди, цинка и марганца атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Shimadzu AA-6300. Подготовку проб проводили методом мокрого озольнения при повышенном давлении в микроволновой системе MARS-5. Пробы крови отбирали за 2 недели до отела, через неделю и месяц после отела. Выявлен пониженный уровень меди и цинка у животных

© Дрожжин О.С., Шипилов В.В., 2022



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

обоих хозяйств на протяжении всего периода исследования. Зависимость содержания микроэлементов от физиологического состояния животных (до и после отела) не выявлена. Показано, что содержание железа в крови высокопродуктивных коров хозяйства 2 было ниже на протяжении всего исследования, а марганца через неделю и месяц после отела. Количество марганца в крови животных хозяйства 2 было меньше нижней границы физиологической нормы, тогда как у животных хозяйства 1 его концентрация находилась в референсных пределах нормы.

Ключевые слова: коровы, цельная кровь, микроэлементы, железо, медь, цинк, марганец, техногенная нагрузка, физиологическое состояние


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

История статьи: поступила в редакцию 10 марта 2022 г., принята к публикации 11 апреля 2022 г.

Для цитирования: Дрожжин О.С., Шипилов В.В. Микроэлементный статус высокопродуктивных коров при различном физиологическом состоянии в условиях повышенной техногенной нагрузки // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 203–209. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-203-209

Trace element status of highly productive cows in different physiological conditions under increased technogenic load

Oleg S. Drozhzhin  , Valeriy V. Shipilov 

Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy,
Voronezh, Russian Federation
 icrsa@mail.ru

Abstract. Microelements play a vital role in the maintenance and intensification of metabolic and regulatory processes in the body of animals. For a more complete study of provision of body of highly productive animals with microelements and diagnosis of metabolic disorders, especially under anthropogenic load, it is necessary to conduct biochemical blood tests. The article presents the results of studies on the content of trace elements (iron, copper, zinc, manganese) in the whole blood of cows from two farms in the Voronezh region, one of which (farm 2) is located in an area with increased technogenic load. In whole blood, the content of iron, copper, zinc, and manganese was determined by atomic absorption using a Shimadzu AA-6300 spectrophotometer. Samples were prepared by wet ashing at elevated pressure in a MARS-5 microwave system. Blood samples were taken 2 weeks before calving, one week and one month after calving. A reduced level of copper and zinc was found in animals from both farms throughout the entire study period. The dependence of the content of microelements on the physiological state of animals (before and after calving) was not revealed. It was shown that the content of iron in the blood of highly productive cows from farm 2 was lower throughout the study, and manganese — a week and a month after calving. The amount of manganese in blood of farm 2 animals was less than the lower limit of the physiological norm, while in farm 1 animals its concentration was within the reference normal range.

Key words: cows, whole blood, trace elements, iron, copper, zinc, manganese, technogenic load, physiological state

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

Article history: Received: 10 March 2022. Accepted: 11 April 2022

For citation: Drozhzhin OS, Shipilov VV. Trace element status of highly productive cows in different physiological conditions under increased technogenic load. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):203–209. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-203-209

Введение

Задача повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных животных к различным заболеваниям является приоритетной для развития животноводства. Решение данной проблемы связано с поддержанием интенсивного обмена веществ высокопродуктивных животных, для чего необходимо обеспечить полноценное кормление, содержащее биологически активные компоненты в оптимальном соотношении [1—4]. Значительную роль в поддержании и интенсификации обменных и регуляторных процессов в организме животных играют микроэлементы, являющиеся их активными участниками [5—9].

При ведении животноводства на техногенно загрязненных территориях сельскохозяйственные животные подвергаются хроническому воздействию факторов физической, химической и биологической природы. Техногенные биогеохимические зоны, как правило, образуются по соседству с крупными промышленными предприятиями и рудными разработками. Промышленные выбросы накладывают отпечаток на все биологические объекты, находящиеся в зоне предприятия, и на состояние здоровья продуктивных животных [10—13].

В свою очередь, дисбаланс микроэлементов в организме животных оказывает негативное влияние на функциональное состояние органов и систем, генетический потенциал и воспроизводительную функцию, устойчивость к различным заболеваниям, способность реагировать на изменяющиеся условия среды [14, 15]. Для более полного изучения обеспеченности организма высокопродуктивных животных микроэлементами и диагностики нарушения обмена веществ, особенно в условиях антропогенной нагрузки, необходимо проведение биохимических исследований крови [16].

Цель исследования — изучение микроэлементного статуса у высокопродуктивных коров при различном физиологическом состоянии в условиях экологического неблагополучия.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены на 40 клинически здоровых коровах (в возрасте 2...5 лет) из двух животноводческих комплексов Воронежской области, один из которых (хозяйство 2) находится в зоне крупного химического предприятия с факельными выбросами в атмосферу. Отбор проб крови животных обоих хозяйств проводили за 2 недели до отела, через неделю и месяц после отела.

В цельной крови определяли содержание железа, меди, цинка и марганца атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Shimadzu AA-6300. Подготовку проб

проводили методом мокрого озоления при повышенном давлении в микроволновой системе MARS-5. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Statistica v6.1, оценку достоверности—по критерию Стьюдента. Достоверность разницы между показателями рассчитывали по методу Манна—Уитни.

Результаты исследований и обсуждение

Анализ проведенных исследований содержания микроэлементов в цельной крови коров хозяйства 1 не показал зависимости изменения их содержания до и после отела (таблица).

Содержание микроэлементов в цельной крови коров хозяйств 1 и 2

Показатели	Группы	
	Хозяйство 1	Хозяйство 2
За две недели до отела		
Железо, мМ/л	4,19±0,034	3,94±0,043***
Медь, мкМ/л	11,9±0,60	12,2±0,86
Цинк, мкМ/л	36,7±1,71	39,6±1,92
Марганец, мкМ/л	3,1±0,16	2,6±0,31
Через неделю после отела		
Железо, мМ/л	4,22±0,051	4,03±0,072*
Медь, мкМ/л	13,2±0,74	13,6±0,74
Цинк, мкМ/л	32,8±1,49	35,7±1,41
Марганец, мкМ/л	2,8±0,17	2,4±0,12*
Через месяц после отела		
Железо, мМ/л	4,18±0,069	3,98±0,087*
Медь, мкМ/л	12,7±0,29	13,2±0,85
Цинк, мкМ/л	34,7±1,16	38,4±2,87
Марганец, мкМ/л	3,0±0,15	2,5±0,23*

* – P < 0,05; *** – P < 0,001 – относительно хозяйства 1.

The content of trace elements in whole blood of cows farms № 1 and 2

Indicators	Groups	
	Farms № 1	Farms № 2
Two weeks before calving		
Fe, mM/l	4.19±0.034	3.94±0.043***
Cu, mM/l	11.9±0.60	12.2±0.86
Zn, mM/l	36.7±1.71	39.6±1.92
Mg, mM/l	3.1±0.16	2.6±0.31
One week after calving		
Fe, mM/l	4.22±0.051	4.03±0.072*
Cu, mM/l	13.2±0.74	13.6±0.74
Zn, mM/l	32.8±1.49	35.7±1.41
Mg, mM/l	2.8±0.17	2.4±0.12*
One month after calving		
Fe, mM/l	4.18±0.069	3.98±0.087*
Cu, mM/l	12.7±0.29	13.2±0.85
Zn, mM/l	34.7±1.16	38.4±2.87
Mg, mM/l	3.0±0.15	2.5±0.23*

* P < 0.05; ***– P<0.001 – relative to farm no 1.

Установлено, что концентрация железа и марганца на протяжении всего периода исследования находилась в пределах физиологической нормы для этих элементов (3,6...5,4 и 2,7...3,6 мкМ/л соответственно), а меди и цинка меньше нижней границы (14...19 и 43...74 мкМ/л соответственно). Так содержание меди было меньше на 15,0 % за 2 недели до отела, на 5,7 % через неделю после отела и на 9,3 % через месяц после отела, цинка — на 14,7, 23,7 и 19,3 % соответственно.

При исследовании содержания микроэлементов в цельной крови коров хозяйства 2 не установлена зависимость их концентрации от физиологического состояния (см. табл.). Из полученных результатов видно, что содержание железа в ходе исследования находилось в пределах нормативных значений, а меди, цинка и марганца не достигало нижней границы нормы. Так, содержание меди было меньше на 12,9 % за 2 недели до отела, на 2,9 % через неделю после отела и на 5,7 % через месяц после отела, цинка — на 7,9, 17,0 и 10,7 %, а марганца — на 3,7, 11,1 и 7,4 % соответственно.

Сравнительный анализ содержания микроэлементов в крови коров двух хозяйств показал, что концентрация железа у животных хозяйства 2 была достоверно ниже на протяжении всего периода исследования, а марганца — через неделю и месяц после отела. Достоверных различий концентрации меди и цинка в крови коров этих хозяйств не выявлено.

Следует отметить, что содержание марганца в крови животных хозяйства 2 было меньше нижней границы физиологической нормы, тогда как у животных хозяйства 1 оно находилось в ее пределах.

Анализ полученных результатов показал недостаточную обеспеченность высокопродуктивных коров медью, цинком и в одном хозяйстве марганцем, а также меньшее содержание железа и марганца у животных из хозяйства с повышенной техногенной нагрузкой. В связи с этим возникает необходимость регулярного проведения биохимических исследований крови для контроля уровня этих элементов, особенно в условиях повышенной антропогенной нагрузки на животноводческие комплексы.

Заключение

Полученные данные исследования крови высокопродуктивных коров двух хозяйств не показали четкой зависимости содержания микроэлементов от физиологического состояния животных (до и после отела). Анализ результатов показал пониженный уровень меди и цинка у животных обоих хозяйств на протяжении всего исследования. При сравнении концентрации микроэлементов в крови коров двух хозяйств установлено, что содержание железа у животных хозяйства 2 было ниже на протяжении всего исследования, а марганца через неделю и месяц после отела. Полученные данные свидетельствуют о необходимости регулярного мониторинга уровня микроэлементов в крови высокопродуктивных животных, особенно в условиях повышенной техногенной нагрузки.

References / Библиографический список

1. Miroshnikov SA, Skalny AV, Zavyalov OA, Frolov AN, Grabeklis AR. The reference values of hair content of trace elements in dairy cows of Holstein breed. *Biol Trace Elem Res.* 2020;194(1):145–151. doi: 10.1007/s12011-019-01768-6
2. Vatnikov Y, Donnik I, Kulikov E, Karamyan A, Notina E, Bykova I, Bannoud G, Bondareva I, Shlindova E, Sotnikova E, Lenchenko E, Rudenko A, Rudenko V, Rudenko P. Effectiveness of *Hypericum perforatum* L. phytosorbent as a part of complex therapy for acute non-specific bronchopneumonia. *International Journal of Pharmaceutical Research.* 2020; 12(S.1):1108–1116. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.165
3. Sheppard SC, Sanipelli B. Trace elements in feed, manure, and manured soils. *J Environ Qual.* 2012; 41(6):1846–1856. doi: 10.2134/jeq2012.0133
4. Rudenko P, Sachivkina N, Vatnikov Y, Shabunin S, Engashev S, Kontsevaya S, Karamyan A, Bokov D, Kuznetsova O, Vasilieva E. Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation. *Veterinary World.* 2021;14(1):40–48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48
5. Diyabalanage S, Kalpage MD, Mohotti DG, Dissanayake CKK, Fernando R, Frew RD, Chandrajith R. Comprehensive assessment of essential and potentially toxic trace elements in bovine milk and their feeds in different agro-climatic zones of Sri Lanka. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199(4):1377–1388. doi: 10.1007/s12011-020-02242-4
6. Omur A, Kirbas A, Aksu E, Kandemir F, Dorman E, Kaynar O, Ocar O. Effects of antioxidant vitamins (A, D, E) and trace elements (Cu, Mn, Se, Zn) on some metabolic and reproductive profiles in dairy cows during transition period. *Pol J Vet Sci.* 2016;19(4):697–706. doi: 10.1515/pjvs-2016-0088
7. Pereira V, Carbajales P, López-Alonso M, Miranda M. Trace element concentrations in beef cattle related to the breed aptitude. *Biol Trace Elem Res.* 2018;186(1):135–142. doi: 10.1007/s12011-018-1276-3
8. Vatnikov Y, Shabunin S, Kulikov E, Karamyan A, Murylev V, Elizarov P, Kuznetsova O, Vasilieva E, Petukhov N, Shopinskaya M, Rudenko A, Rudenko P. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L. *International Journal of Pharmaceutical Research.* 2020;12(S.2):3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP2.373
9. Miroshnikov S, Notova S, Kazakova T, Marshinskaia O. The total accumulation of heavy metals in body in connection with the dairy productivity of cows. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2021;28(36):49852–49863. doi: 10.1007/s11356-021-14198-6
10. Yazlık MO, Çolakoğlu HE, Pekcan M, Kaya U, Küplülü Ş, Kaçar C, Polat M, Vural MR. Effects of injectable trace element and vitamin supplementation during the gestational, peri-parturient, or early lactational periods on neutrophil functions and pregnancy rate in dairy cows. *Anim Reprod Sci.* 2021;225:106686. doi: 10.1016/j.anireprosci.2021.106686
11. Gruber A, Müller R, Wagner A, Colucci S, Spasić MV, Leopold K. Total reflection X-ray fluorescence spectrometry for trace determination of iron and some additional elements in biological samples. *Anal Bioanal Chem.* 2020;412(24):6419–6429. doi: 10.1007/s00216-020-02614-8
12. Vatnikov Y, Yousefi M, Engashev S, Rudenko P, Lutsay V, Kulikov E, Karamyan A, Dremova T, Tadzhieva A, Strizhakov A, Kuznetsov V, Yagnikov S. Clinical and hematological parameters for selecting the optimal dose of the phytopreparation «Deprim», containing an extract of the herb *Hypericum perforatum* L., in husbandry. *International Journal of Pharmaceutical Research.* 2020;12(S.1):2731–2742. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.401
13. Gonçalves DA, Soncin AC, Donati GL, dos Santos MC. Determination of trace elements in cow placenta by tungsten coil atomic emission spectrometry. *Biol Trace Elem Res.* 2017;178(2):228–234. doi: 10.1007/s12011-016-0926-6
14. Saribal D. ICP-MS analysis of trace element concentrations in cow's milk samples from supermarkets in Istanbul, Turkey. *Biol Trace Elem Res.* 2020;193(1):166–173. doi: 10.1007/s12011-019-01708-4
15. Palikov VA, Palikova YA, Borozdina NA, Nesmeyanova EN, Rudenko PA, Kazakov VA, Kalabina EA, Bukatin MV, Zharmukhamedova TYu, Khokhlova ON, Dyachenko IA. A novel view of the problem of Osteoarthritis in experimental rat model. *Research Results in Pharmacology.* 2020;6(2):19–25. doi: 10.3897/rpharmacology.6.51772
16. Vatnikov Y, Donnik I, Kulikov E, Karamyan A, Sachivkina N, Rudenko P, Tumanyan A, Khairova N, Romanova E, Gurina R, Sotnikova E, Bondareva I. Research on the antibacterial and antimycotic effect of the phytopreparation Farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine. *International Journal of Pharmaceutical Research.* 2020;12(S.2):1481–1492. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP2.164

Об авторах:

Дрожжин Олег Сергеевич — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории токсикологии, оценки рисков безопасности сырья и продуктов биологического происхождения, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 114 б; e-mail: icrsa@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0354-8149

Шпилов Валерий Валерьевич — инженер по наладке и испытаниям лаборатории токсикологии, оценки рисков безопасности сырья и продуктов биологического происхождения, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 114 б; e-mail: vnivipat@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0730-3680

About authors:

Drozhzhin Oleg Sergeevich — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of toxicology, safety risk assessment of raw materials and products of biological Origin, Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114 b, Lomonosov st., Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: icrsa@mail.ru
ORCID: 0000-0002-0354-8149

Shipilov Valeriy Valerievich — Engineer for adjustment and testing, Laboratory of toxicology, risk assessment of the safety of raw materials and products of biological origin, Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114 b, Lomonosov st., Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: vnivipat@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0730-3680

DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-2-210-220
УДК 612.414.017.1.019.08

Обзорная статья / Review article

Обоснование применения рекомбинантного интерлейкина-2 при травматической болезни в ветеринарии

О.А. Гизингер Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация
✉ OGizinger@gmail.com

Аннотация. Представлен анализ исследований о возможности использования рекомбинантного интерлейкина-2 при травматической болезни в ветеринарии. В анализ включались публикации из следующих баз данных: PubMed, MedLine, BIOSIS, CANCERLIT, CINAHL, CISCUM, EMBASE, International Pharmaceutical Abstracts, NAPRALERT, с использованием 10 ключевых слов и их сочетаний, базы данных PubMed. Показано, что при травме любого генеза возникает иммунодефицитное состояние, связанное с дисбалансом Th1/Th2 цитокинов. Применение рекомбинантного интерлейкина-2 восстанавливает продукцию эндогенного интерлейкина-2, обеспечивает адекватную целенаправленную медикаментозную коррекцию иммунных дисфункций, повышая клинико-иммунологическую эффективность терапевтических мероприятий.

Ключевые слова: ветеринария, иммунитет, коррекция иммунных нарушений, животные, цитокины, интерлейкин-2, Ронколейкин, травматическая болезнь

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследования, представленные в статье, не финансировались производителем препарата Ронколейкин®. Статья не имеет рекламного характера.

История статьи: поступила в редакцию 11 апреля 2022 г., принята к публикации 16 мая 2022 г.

Для цитирования: Гизингер О.А. Обоснование применения рекомбинантного интерлейкина-2 при травматической болезни в ветеринарии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С.210—220. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-210-220

© Гизингер О.А., 2022

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

Use of recombinant interleukin-2 in traumatic disease in veterinary medicine

Oksana A. Gizinger 

Peoples' Friendship University of Russia; Moscow, Russian Federation
✉ OGizinger@gmail.com

Abstract. The article presents analysis of current information on the possibility of using recombinant interleukin-2 in traumatic disease in veterinary medicine. The analysis included publications from the following databases—PubMed, MedLine, BIOSIS, ToxiNet, CANCERLIT, CINAHL, CISCOS, EMBASE, International Pharmaceutical Abstracts, and NAPRALERT, using 10 keywords and their combinations. It was shown that in trauma of any genesis, an immunodeficiency state occurs associated with an imbalance of Th1/Th2 cytokines. The use of recombinant interleukin-2 restores synthesis of endogenous interleukin-2, provides adequate targeted drug correction of immune dysfunctions, increasing the clinical and immunological effectiveness of therapeutic measures.

Key words: veterinary medicine, immunity, correction of immune disorders, animals, cytokines, interleukin-2, Roncoleukinum, traumatic disease

Conflicts of interest. The authors declared no conflicts of interest. The studies presented in this article were not funded by the producer of Roncoleukinum®. The article is not promotional.

Article history: Received: 11 April 2022. Accepted: 16 May 2022

For citation: Gizinger OA. Use of recombinant interleukin-2 in traumatic disease in veterinary medicine. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):210—220. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-210-220

Важность иммуномодулирующей терапии в ветеринарии при травматической болезни

Травматизм — наиболее распространенная группа заболеваний из всех незаразных болезней животных, возникающих от погрешностей содержания, кормления, эксплуатации и транспортировки животных. На долю травматизма, который причиняет большой урон животноводству, приходится до 50 % общей заболеваемости незаразными болезнями. Как правило, травматизм — совокупность сходных травм у определенного вида животных с общими условиями содержания, кормления и эксплуатации. Изменение активности функций иммунной системы наблюдаются уже в первые минуты после травмы, а выраженность этих изменений и их продолжительность непосредственно зависит от силы и длительности воздействия повреждающего фактора, а также от степени повреждения тканей.

В ветеринарной медицине на протяжении длительного времени отсутствовало четкое представление об алгоритмах воздействия на иммунную систему с целью устранения дисбаланса цитокинов, восстановления количества и метаболического статуса клеток-продуцентов цитокинов, нормализации гомеостатического регулирования при лечении травм, репарации костной ткани, устранения иммунных нарушений. Количество публикаций об использовании препаратов, нормализующих иммунный ответ при различных патологических состояниях у животных, ограничен несколькими десятками статей 2017—2022 гг. в научных базах PubMed, MedLine, BIOSIS, CANCERLIT, CINAHL, CISCOM, EMBASE, International Pharmaceutical Abstracts, NAPRALERT. Поиск проводился по 10 ключевым словам и сочетаниям: дефицит интерлейкина-2 у животных, ветеринария, животные, цитокины, интерлейкин-2, рекомбинантный интерлейкин-2 (рИЛ-2), травматическая болезнь. Для сложного запроса в системе PubMed вводили параметры трех операторов (AND, OR, NOT). Для уточнения и увеличения количества информации автором были подробно проанализированы индексируемые в системе MEDLINE публикации типов: Bibliography (библиография), Classical Article (классическая работа), Clinical Trial (клинические испытания — включает все типы и фазы клинических испытаний), Controlled Clinical Trial (контролируемые клинические испытания), Guideline (руководство), Practice Guideline (клинические руководство), Review (обзор), Review of Reported Cases (описание случаев заболеваний), Review Literature (обзор литературы), Multicenter Study (многоцентровое исследование), Meta Analysis (метаанализ), Letter (Письма), Comment (комментарии).

На сегодняшний день знание иммунопатологических процессов в ветеринарии и умение влиять на механизмы и поляризацию иммунного ответа особенно востребованы в связи с формированием антибиотикорезистентности, ростом агрессивности патогенов, действием на организм животных факторов внешней среды, наличием нутриентных дефицитов, в т. ч. коферментов иммунных реакций. Вышеперечисленные обстоятельства обосновывают необходимость расширения возможностей для использования средств и методов, регулирующих работу иммунной системы животных, проведения исследований и на их основе формирования методических комплексов и лечебных алгоритмов. **Цель исследования** — проанализировать научные данные по особенностям иммунного статуса у животных с травматической болезнью и обосновать применение рИЛ-2 при травматической болезни в ветеринарии.

На сегодняшний день иммунологи и специалисты в области ветеринарной медицины уделяют пристальное внимание изучению состояния клеточных и гуморальных факторов врожденного и адаптивного иммунитета при различных патологических состояниях у животных, в частности, при травматической болезни, значение и роль которой в общей структуре патологических состояний у животных не имеет тенденции к снижению в XXI в. [1].

Известно, что травма любого генеза сопровождается дисбалансом Th1/Th2 цитокинов, нарушением синтеза эйкозаноидов, альфа и бета дефензинов нейтрофильными гранулоцитами, количества и функционально-метаболического статуса

клеток адаптивного иммунитета [2]. Более того, при исследовании osteo- и иммуногенетических механизмов выявлена положительная корреляционная связь ($R=1,45$) и, соответственно, влияние врожденной и адаптивной системы клеточного и гуморального иммунитета на репаративные процессы в мягких и костных тканях, а также на весь характер течения периода репарации [3]. В формировании воспаления при травматической болезни особая роль отводится дисбалансу оппозитных групп цитокинов: интерлейкин ИЛ-2, ИЛ-8, фактора некроза опухоли альфа ФНО- α , ИЛ-10. При травматической болезни дисбаланс системы цитокинов часто коррелирует с оксидативным стрессом и дезактивацией системы антиоксидантной защиты, что позволяет рассматривать эти процессы как компоненты единого механизма повреждения [4]. В условиях острой воспалительной реакции, вызванной повреждением тканевых структур, активные формы кислорода, вырабатываемые фагоцитами в процессе своего кислород-зависимого метаболизма, высвобождаются, формируя патологические изменения, итогом которых может быть оксидативный стресс, приводящий к структурной дезорганизации мембран клеток, усилению процессов пероксидации фосфолипидов клеточных мембран, гибели лимфоцитов путем апоптоза и формировании лимфопении [5]. Имеющиеся на сегодняшний день знания в области иммунологии травмы в ветеринарии и непосредственно по проблеме иммунокоррекции на этапе посттравматического восстановления у животных хоть и являются противоречивыми, но имеют доказательную базу, свидетельствующую в пользу применения иммуномодулирующих эффектов рекомбинантных цитокинов, в частности рИЛ-2 для оптимизации репаративного остеогенеза.

Роль интерлейкина-2 в модуляции иммунных реакций при травматической болезни

Интерлейкин-2 принимает участие в активации и пролиферации иммунокомпетентных клеток: NK-клеток, моноцитов, дендритных клеток I типа [6]. Участвуя в активации субпопуляции клеток с фенотипом $CD3^+CD8^+$, он способствует выработке перфоринов, которые, полимеризуясь, формируют каналы в мембране клетки-мишени, через эти каналы в клетку-мишень входят ионы натрия, за ними вода, что приводит к гибели клетки в результате осмотического шока и предупреждает бактериальные осложнения при травматической болезни. Интерлейкин-2 регулирует выработку клетками с фенотипом $CD3^+CD8^+$ (Т-цитотоксическими лимфоцитами) специальных пептидов-гранзимов, которые входят в клетку-мишень через отверстие, подготовленное перфорином, и активируют каспазы — посредники апоптотического процесса, запускающие программируемую клеточную гибель. Влияние интерлейкина-2 на лиганд Fas-зависимого апоптоза-FasL приводит к активации Fas-зависимого каспазного механизма, предотвращающего бактериальные осложнения травматической болезни. Показана роль интерлейкина-2 в усилении активности и интенсивности фагоцитов, активации их поглотительных и переваривающих возможностей в отношении патогенов [5] (рис. 1, 2).

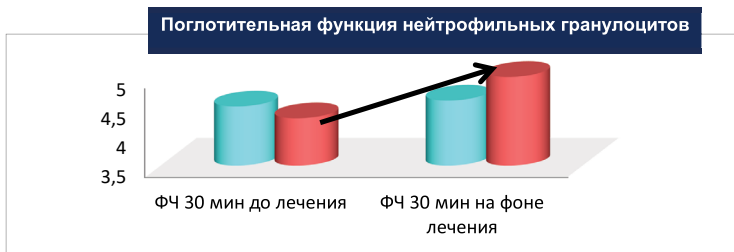


Рис. 1. Поглощательная активность нейтрофильных гранулоцитов при совместном культивировании с интерлейкином-2 in vitro, статистическая значимость отличий от показателей в 0-й день исследования (критерий Уилкоксона). По материалам [5]

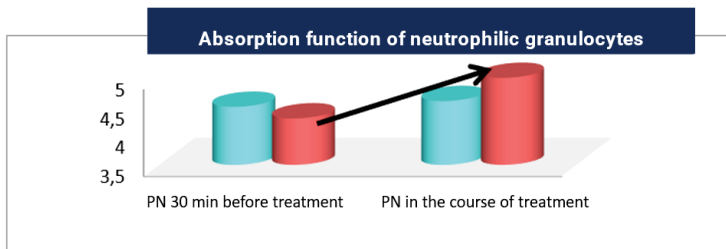


Fig. 1. Absorption activity of neutrophilic granulocytes during co-cultivation with interleukin-2 in vitro, statistical significance of differences from the indicators on the 0th day of the study (Wilcoxon test). According to [5]

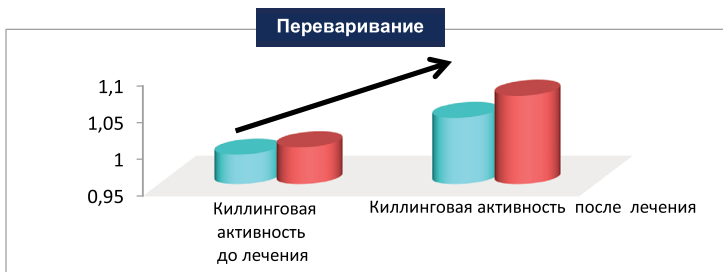


Рис. 2. Переваривающая способность нейтрофильных гранулоцитов при совместном культивировании с интерлейкином-2 in vitro, статистическая значимость отличий от показателей в 0-й день исследования (критерий Уилкоксона). По материалам [5]

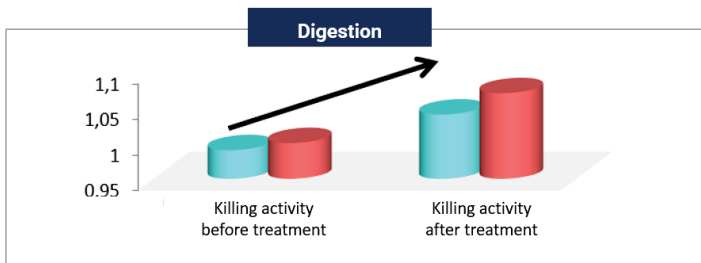


Fig. 2. Digestive capacity of neutrophilic granulocytes during co-cultivation with interleukin-2 in vitro, statistical significance of differences from the indicators on the 0th day of the study (Wilcoxon test). According to [5]

Показано, что интерлейкин-2 участвует в процессах преодоления оксидативного стресса, который является следствием дисбаланса прооксидантных систем и активности ферментов антиоксидантной защиты. Нейтрофильные гранулоциты, подвергнутые *in vitro* окислительному стрессу, вызывают гипореактивность Т-лимфоцитов, при этом активные формы кислорода и метаболиты азота, действуя непосредственно на TCR рецепторы Т-лимфоцитов, вызывают гибель клеток посредством Fas-зависимого апоптоза. Совместное культивирование нейтрофильных гранулоцитов, выделенных из периферической крови, подвергшихся окислительному стрессу, и интерлейкина-2 не только не приводит к гибели Т-лимфоцитов, а вызывает состояние гипореактивности у 23 % клеток, по данным цитофлуориметрического анализа [4].

Возможности рекомбинантного интерлейкина-2 (Ронколейкина®) в репарации костной ткани и терапии бактериальных осложнений

Активная субстанция рИЛ-2 (Ронколейкин®) — рекомбинантный дрожжевой полипептид, состоящим из 133 аминокислот с молекулярной массой около 15,3 кДа. Ронколейкин® применяют в комплексной терапии сельскохозяйственных, домашних, диких и экзотических животных. Лицензия № 12517-ЛС-П выдана Министерством промышленности и торговли РФ 10 июля 2013 г., срок действия лицензии — бессрочно.

Препарат активирует процессы репарации и регенерации тканей [6]. Выявление возможностей данного препарата особенно важно при тяжелой патологии костной ткани, когда применение традиционных иммуномодуляторов, например, препаратов, индуцирующих фагоцитарные реакции, активаторов функционально-метаболического статуса фагоцитов или индукторов эндогенного синтеза цитокинов становится невозможным из-за истощения компенсаторных возможностей иммунной системы и снижения адаптационного потенциала иммунных клеток. В пользу выбора рекомбинантного интерлейкина-2 как препарата для комплексной терапии травматической болезни свидетельствует то, что его применение эффективно и безопасно по сравнению с неспецифическими иммуномодуляторами, применяемыми в ветеринарии [9—12]. Это объясняется выраженной селективностью действия, обусловленной наличием специфических рецепторов на клетках-мишенях для этого цитокина [7].

Для предупреждения бактериальных осложнений рИЛ-2 применяют в комплексной терапии инфекционно-деструктивных процессов в костной ткани: 2...3 инъекции из расчета 10 000 МЕ/кг с интервалом 24...48 ч. При тяжелом состоянии животного курс можно повторить через 30 дней.

По данным В.А. Косинец (Витебский государственный медицинский университет), применение рИЛ-2 в послеоперационном периоде способствовало снижению воспалительной реакции, о чем свидетельствовало смещение маргинального пула нейтрофильных гранулоцитов в сторону клеток лимфоцитарного ряда [8]. А.С. Джабраиловой с соавторами выполнены исследования *in vivo* и морфолунк-

ционального состояния организма у экспериментальных животных с переломами трубчатых костей, предложен системный научно обоснованный подход к вопросам эффективной организации репаративного остеогенеза на основе анализа структуры и функциональных механизмов иммуноморфологической обеспеченности, регулирования и контроля процессов репарации [9].

В исследовании А.С. Джабраиловой показано, что вводимый в организм животного рИЛ-2 восполняет дефицит эндогенного одноименного цитокина и может способствовать:

- процессам распознавания антигена комплексами МНС I и МНС II, что усиливает пролиферацию и дифференцировку Th(0) в направлении Th(1); восстанавливает баланс оппозитных (провоспалительных/противовоспалительных) групп цитокинов.

- повышению цитолитической активности НК клеток, моноцитов, продукции антител, что наряду с обеспечением стабильной жесткой фиксации на протяжении всего периода лечения позволяет сократить сроки консолидации отломков в среднем на 7...10 сут. [9].

По результатам анализа качественных и количественных различий в цитограммах животных, проведенных М.А. Куцоля, была установлена высокая активность нейтрофильных гранулоцитов и макрофагов у травмированных крыс, получавших иммунотерапию. Сопоставление результатов исследований, проведенных различными авторами в 2000—2020-х гг., позволяет утверждать, что аппликация на рану, подкожная инъекция или введение рИЛ-2, или сочетание всех трех способов введения при лечении животного с травматической болезнью приводит к сходным позитивным цитологическим изменениям (табл. 1).

Таблица 1

Влияние рИЛ-2 на заживление раны in vivo, по данным [10]

№	Способ местного лечения заживающей раны через 10 дней после операции	Величина структур заживающей раны, мкм (M±m)			
		Струп	Лейкоцитарный вал	Грануляционная ткань	Протяженность эпителия
1	0,9 % раствора NaCl: аппликации 1 мл на рану + 1 мл п/к; n = 10 крыс (контроль)	213,5± 15,9	82,2 ± 6,2	750,6 ± 27,2	768,3 ± 53,1
2	Рекомбинантный интерлейкин-2: аппликации 1 мл (50000 МЕ) на рану + 0,5 мл (20000 МЕ/кг) п/к; n = 12 крыс	190,0 ± 16,2	53,1 ± 6,2*	1077,1 ± 34,6*	994,2 ± 43,1*
3	Рекомбинантный интерлейкин-2: аппликации 1 мл (25000 МЕ) на рану + 0,5 мл (20000 МЕ/кг) п/к; n=12 крыс	173,7 ± 14,9*	49,2 ± 5,2*	1118,7 ± 39,7*	972,1 ± 49,2*

Примечание. *Различия по отношению к данным серии № 1 достоверны при $p \leq 0,001$ (использован критерий Стьюдента).

Effect of rIL-2 on wound healing in vivo, according to [10]

№	Method of local treatment of wound 10 days after surgery	The size of the structures of the healing wound, μm ($M \pm m$)			
		Scab	Leukocyte shaft	Granulation tissue	Epithelium length
1	0.9 % NaCl solution: 1 ml applications on the wound + 1 ml s.c.; n = 10 rats (control)	213.5 \pm 15.9	82.2 \pm 6.2	750.6 \pm 27.2	768.3 \pm 53.1
2	Recombinant interleukin-2: 1 ml (50,000 IU) applications on the wound + 0.5 ml (20,000 IU/kg) s.c.; n = 12 rats	190.0 \pm 16.2	53.1 \pm 6.2*	1077.1 \pm 34.6*	994.2 \pm 43.1*
3	Recombinant interleukin-2: 1 ml (25,000 IU) applications on the wound + 0.5 ml (20,000 IU/kg) s.c.; n=12 rats	173.7 \pm 14.9*	49.2 \pm 5.2*	1118.7 \pm 39.7*	972.1 \pm 49.2*

Note: *Differences in relation to the data of series No. 1 are significant at $p \leq 0.001$ (Student's t-test was used).

Опыты, проведенные на модели заживления полнослойного дефекта кожи у крыс, показали, что рИЛ-2 влияет на онтогенез фибробластов: увеличивается скорость их дифференцировки, в результате чего в грануляционной ткани преобладают их зрелые формы, активно синтезирующие коллаген.

В результате проведенного исследования показано, что патогенетическая терапия с применением рИЛ-2 характеризуется противовоспалительным и противоотечным эффектом, стимулирует пролиферацию клеток и способствует коллагенообразованию. В итоге это приводит к активации репаративных процессов и сокращению сроков заживления раны, в среднем, на 3—4 сут. И.Ю. Гессе проведено исследование морфофункционального состояния организма у животных с травмами конечностей *in vivo* и клинично-рентгенологический мониторинг спонтанно травмированных собак с переломами с патогенетической терапии рИЛ-2 (табл. 2).

Таблица 2

Влияние рИЛ-2 на репаративный остеогенез. По данным [11]

№	Клинические показатели	Лабораторные показатели
1.	Снижение уровня эндотоксикоза	Уменьшение значений скорости оседания эритроцитов (СОЭ)
2.	Эритропоэтическая активность рИЛ-2	Увеличение числа эритроцитов на 23 % в сравнении с ранним послеоперационным периодом
3.	Противовоспалительная активность рИЛ-2	Нормализация соотношения различных форм нейтрофильных гранулоцитов
4.	Иммуномодулирующее влияние рИЛ-2	Снижение содержания ИЛ-4 в более ранние сроки Нормализация уровня ФНО- α Поддержание уровня ИФН- γ
5.	Остеоиндуцирующая способность рИЛ-2	Активация остеобластов, минерализация костного матрикса. Нормализация содержания ионизированного и общего кальция и неорганического фосфора
6.	Восстановление функциональных свойств конечностей	Сокращение длительности консолидации отломков в 1,4 раза
<p>Схема патогенетической терапии рИЛ-2: подкожно в дозе 20000 МЕ/кг живой массы в 1-, 3-, 5- и 7-е сутки лечения.</p>		

Effect of rIL-2 on reparative osteogenesis. According to [11]

№	Clinical indicators	Laboratory indicators
1.	Reducing endotoxemicosis	Decreased erythrocyte sedimentation rate (ESR)
2.	rIL-2 erythropoietic activity	Increase in the number of erythrocytes by 23 % compared with the early postoperative period
3.	rIL-2 anti-inflammatory activity	Normalization of the ratio of various forms of neutrophilic granulocytes
4.	rIL-2 immunomodulating effect	Decreased content of IL-4 at an earlier date Normalization of TNF- α level Maintaining IFN- γ level
5.	rIL-2 osteoinducing ability	Activation of osteoblasts, mineralization of the bone matrix Normalization of the content of ionized and total calcium and inorganic phosphorus
6.	Functional limb restoration	Reducing the duration of fragment consolidation by 1.4 times
Scheme of pathogenetic therapy of rIL-2: subcutaneously at a dose of 20,000 IU/kg of body weight on the 1st, 3rd, 5th and 7th days of treatment.		

И.Ю. Гессе доказано повышение функциональной активности эритроцитов и появление их новых пулов в первые десять суток в послеоперационный период при комплексной терапии с использованием рИЛ-2, что подтверждает эритропоэтическую активность рекомбинантного интерлейкина-2 [12]. Важность применения лабораторных методов исследования, использования препаратов, влияющих на факторы иммунной системы у животных, подтверждены рядом российских и зарубежных авторов [13–15].

Заключение

Анализ литературных данных подтверждает необходимость оценки состояния клеточного и гуморального иммунитета животных с травмами различной степени тяжести. Приведенные авторами данные свидетельствуют о клинических, биохимических, иммунологических изменениях у травмированных животных. На основании экспериментального моделирования, комплекса клинических, биохимических и иммунологических исследований, проведенных исследователями на протяжении последних десятилетий, авторы научно обосновали положения о возможности стимуляции репаративного остеогенеза при переломах посредством применения в комплексной терапии цитокинов с регуляторным направлением действия и использованием патогенетической терапии рекомбинантного интерлейкина-2.

Применение рИЛ-2 способствует уменьшению выраженности воспалительной реакции, ускорению очищения ран, их грануляции и эпителизации. На фоне перечисленных изменений происходит уменьшение отека и купирование сосудистых нарушений. За счет активации цитокиновой регуляции, девиации направлении иммунных реакций, активации TLR на поверхности иммунных клеток реализуется пролиферативный и регенерирующий эффекты рИЛ-2, что делает его препаратом выбора в комплексной терапии травматической болезни и профилактики бактериальных осложнений у животных.

Библиографический список

1. Evans S.W., Whicher J.T. The Cytokines: physiological and pathological aspects // *Adv. Clin. Chem.* 1993. Vol. 30. P. 1—88. doi: 10.1016/S 0065-2423(08)60194-8
2. Hauser C.J., Lagoo S., Lagoo A., Hale E., Hardy K.J., Barber W.H., Bass J.D., Poole G.V. Human peripheral mononuclear cells do not show proinflammatory patterns of cytokine transcription in early trauma: preliminary report // *Shock*. 1995. Vol. 4. № 4. P. 247—250. doi: 10.1097/00024382-199510000-00003
3. Ertel W., Keel M., Bonaccio M., Steckholzer U., Gallati H., Kenney J.S., Trentz O. Release of anti-inflammatory mediators after mechanical trauma correlates with severity of injury and clinical outcome // *J. Trauma*. 2005. Vol. 39. № 5. P. 879—885. doi: 10.1097/00005373-199511000-00011
4. Pereda J., Sabater L., Aparisi L., Escobar J., Sandoval J., Viña J., López-Rodas G., Sastre J. Interaction between cytokines and oxidative stress in acute pancreatitis // *Curr Med Chem*. 2006. Vol. 13. № 23. P. 2775—2787. doi: 10.2174/092986706778522011
5. Егорова В.Н., Бабаченко И.В., Гизингер О.А., Тумов К.С. Лимфопения как показание к применению рекомбинантного интерлейкина-2 // *Терапевт.* 2020. № 8. С. 32—54. doi: 10.33920/MED-12-2008-04
6. Байрамкулов Э.Д. Оптимизация диагностики, комплексного лечения и реабилитации больных с синдромом диабетической стопы: автореферат дис. ... канд. мед. наук. Пермь, 2019. 24 с.
7. Havran W.L., Kim D.K., Moldwin R.L., Lancki D.W., Fitch F.W. Interleukin-2 differentially regulates IL-2 receptors on murine cloned cytolytic and helper T cells // *Clin Immunol Immunopathol.* 1986. Vol. 39. № 3. P. 368—378. doi: 10.1016/0090-1229(86)90165-0
8. Косинец В.А. Влияние интерлейкина-2 на структурное состояние тонкой кишки при экспериментальном распространенном гнойном перитоните // *Новости хирургии.* 2014. Т. 22. № 6. С. 643—648. doi: 10.18484/2305-0047.2014.6.643
9. Джабраилова А.С., Луцай В.И. Использование иммуностимуляторов как метод активизации репаративного остеогенеза // *Молодой ученый.* 2019. № 50 (288). С. 57—59. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/288/65255/> Дата обращения: 10.04.2022.
10. Куцоля М.А. Характеристика клеточного состава грануляционной ткани при применении иммунокорректора «Ронколейкин» // *Морфология.* 2008. Т. 133. № 2. С. 75.
11. Гессе И.Ю. Иммуноморфологические аспекты цитокиновой оптимизации репаративного остеогенеза у собак в условиях внешней стержневой фиксации: автореф. дисс. ... канд. вет. наук. Саратов, 2008. 22 с.
12. Гессе И.Ю. Динамика иммуноморфологических показателей при различных способах оптимизации остеогенеза в условиях экстерналистержневой фиксации // *Вавиловские чтения: Матер.* Саратов, 2006. С. 14—17.
13. Puddu P., Carollo M., Pietraforte I., Spadaro F., Tombesi M., Ramoni C., Belardelli F., Gessani S. IL-2 induces expression and secretion of IFN-gamma in murine peritoneal macrophages // *J Leukoc Biol.* 2005. Vol. 78. № 3. P. 686—695. doi: 10.1189/jlb.0105035
14. Анников В.В. Оценка состояния клеточного и гуморального иммунитета травматологически больных животных при имплантации стержневых остеофиксаторов, обогащенных лантаном методом термоокисидирования // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии.* 2012. Т. 2. № 4. С. 94—97.
15. Деревянченко В.В., Анников В.В. Клинико-гемо-биохимические изменения при имплантации остеофиксаторов из наномодифицированного диоксида титана // *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии.* 2013. № 4. С. 30—36.

References

1. Evans SW, Whicher JT. The Cytokines: physiological and pathological aspects. *Adv Clin Chem.* 1993; 30:1—88. doi: 10.1016/S 0065-2423(08)60194-8
2. Hauser CJ, Lagoo S, Lagoo A, Hale E, Hardy KJ, Barber WH, et al. Human peripheral mononuclear cells do not show proinflammatory patterns of cytokine transcription in early trauma: a preliminary report. *Shock.* 1995;4(4):247—250. doi: 10.1097/00024382-199510000-00003
3. Ertel W, Keel M, Bonaccio M, Steckholzer U, Gallati H, Kenney JS, Trentz O. Release of anti-inflammatory mediators after mechanical trauma correlates with severity of injury and clinical outcome. *J Trauma.* 2005;39(5):879—885. doi: 10.1097/00005373-199511000-00011

4. Pereda J, Sabater L, Aparisi L, Escobar J, Sandoval J, Viña J, López-Rodas G, Sastre J. Interaction between cytokines and oxidative stress in acute pancreatitis. *Curr Med Chem*. 2006;13(23):2775—2787. doi: 10.2174/092986706778522011
5. Egorova V, Babachenko IV, Gizinger OA, Titov KS. Lymphopenia as an indication for the use of recombinant interleukin-2. *Terapevt*. 2020;(8):32—54. (In Russ.) doi: 10.33920/MED-12-2008-04
6. Bayramkulov ED. *Optimizatsiya diagnostiki, kompleksnogo lecheniya i reabilytatsii bol'nykh s sindromom diabeticheskoi stopy* [Optimization of diagnosis, complex treatment and rehabilitation of patients with diabetic foot syndrome]. Sciences. Perm; 2019. (In Russ.)
7. Havran WL, Kim DK, Moldwin RL, Lancki DW, Fitch FW. Interleukin-2 differentially regulates IL-2 receptors on murine cloned cytolytic and helper T cells. *Clin Immunol Immunopathol*. 1986;39(3):368—378. doi: 10.1016/0090-1229(86)90165-0
8. Kosinets VA. The effects of interleukin-2 on the small intestine structural state in experimental generalized purulent peritonitis. *Novosti Khirurgii*. 2014;22(6):643—648. (In Russ.) doi: 10.18484/2305-0047.2014.6.643
9. Dzhabrailova AS, Lutsai VI. The use of immunostimulants as a method of activating reparative osteogenesis. *Molodoi uchenyi*. 2019;(50):57—59. (In Russ.)
10. Kutsoly MA, Petrova MB. Lighthoptical characteristic of the granulation tissue after using immunocorrector «Roncoleukinum». *Morphology*. 2008;133(2): 75. (In Russ.)
11. Hesse IY. *Immunomorfologicheskie aspekty tsitokinovoi optimizatsii reparativnogo osteogeneza u sobak v usloviyakh vneshnei sterzhnevoi fiksatsii* [Immunomorphological aspects of cytokine optimization of reparative osteogenesis in dogs under conditions of external rod fixation]. Saratov; 2008. (In Russ.)
12. Hesse IY. Dynamics of immunomorphological parameters in various methods of optimizing osteogenesis under conditions of external rod fixation. In: *Vavilovskie chteniya: conference proceedings*. Saratov; 2006. p.14—17. (In Russ.)
13. Puddu P, Carollo M, Pietraforte I, Spadaro F, Tombesi M, Ramoni C, et al. IL-2 induces expression and secretion of IFN- γ in murine peritoneal macrophages. *J Leukoc Biol*. 2005;78(3):686—695. doi:10.1189/jlb.0105035
14. Annikov VV. Assessment of the state of cellular and humoral immunity in traumatologically ill animals during implantation of rod osteofixators enriched with lanthanum by the method of thermal oxidation. *Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2012;(4–2):94—97. (In Russ.)
15. Derevyanchenko VV, Annikov VV. Clinical and hemo-biochemical changes during implantation of osteofixators from nanomodified titanium dioxide. *Issues of Legal Regulation in Veterinary Medicine*. 2013;(4):30—36 (In Russ.)

Об авторе:

Гизингер Оксана Анатольевна — доктор биологических наук, профессор кафедры микробиологии и вирусологии Медицинского института, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117049, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 8; e-mail: OGizinger@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9302-0155

About author:

Gizinger Oksana Anatolyevna — Doctor of Biological Sciences, Professor, Department of Microbiology and Virology, Medical Institute, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), 8 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117049, Russian Federation; e-mail: OGizinger@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9302-0155



DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-221-231


УДК 619: [612.017.1:615.36]:636.2

Научная статья / Research article

Эффективность применения Аминоселеферона-Б при иммунодефицитном состоянии у высокопродуктивных коров в условиях техногенной нагрузки на окружающую среду

И.Т. Шапошников , В.Н. Коцарев  , В.Н. Скориков 

Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, г. Воронеж, Российская Федерация

 ldmvdc@mail.ru

Аннотация. Высокопродуктивные животные, которым присущи более интенсивный обмен веществ и регуляция нейрогуморальной системы, особо чувствительны к неблагоприятным условиям окружающей среды, у таких животных часто встречаются нарушения метаболизма, снижение иммунобиологического статуса макроорганизма, расстройства воспроизводительной функции и развитие патологических процессов различной этиологии и локализации. Исследования выполнены в условиях крупного молочного комплекса Воронежской области, расположенного в 25 км от химического завода по производству минеральных удобрений: аммиака, аммиачной селитры, азотной кислоты — с общими выбросами во внешнюю среду 5316,5 т в год, в т.ч. газообразных — 4480,3 т в год. Проведены исследования по изучению эффективности применения Аминоселеферона-Б для коррекции иммунного статуса у высокопродуктивных коров при иммунодефицитном состоянии в условиях техногенной нагрузки на окружающую среду. Установлено, что Аминоселеферон-Б способствовал активизации гуморального и клеточного звеньев неспецифического иммунитета, уменьшению родовой и послеродовой патологии, повышению эффективности лечения, улучшению воспроизводительной функции.

Ключевые слова: высокопродуктивные коровы, окружающая среда, техногенное влияние, иммунодефицитное состояние, Аминоселеферон-Б, иммунные показатели, репродуктивное здоровье

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

История статьи: поступила в редакцию 10 марта 2022 г., принята к публикации 21 апреля 2022 г.

© Шапошников И.Т., Коцарев В.Н., Скориков В.Н., 2022




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

Для цитирования: Шапошников И.Т., Коцарев В.Н., Скориков В.Н. Эффективность применения Аминоселеферона-В при иммунодефицитном состоянии у высокопродуктивных коров в условиях техногенной нагрузки на окружающую среду // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 221—231. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-221-231

The effectiveness of the use of Aminoseleferon-B with immunodeficiency in highly productive cows under conditions of technogenic environmental load

Ivan T. Shaposhnikov , Vladimir N. Kotsarev  , Vladimir N. Skorikov 

Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy,
Voronezh, Russian Federation
 ldmvdc@mail.ru

Abstract. Highly productive animals, which are characterized by a more intense metabolism and regulation of the neurohumoral system, are more sensitive to a pool of adverse environmental conditions and can often be accompanied by metabolic disorders, a decrease in the immunobiological status of the macroorganism, reproductive function disorders and the development of pathological processes of various etiology and localization. The studies were carried out in the conditions of a large dairy complex in the Voronezh region located 25 km from a chemical plant for the production of mineral fertilizers: ammonia, ammonium nitrate, nitric acid. Its total emissions to the environment are 5316.5 tons per year, including 4480.3 tons of gases. Studies have been carried out to study the effectiveness of the use of Aminoseleferon-B to correct the immune status of highly productive cows in an immunodeficient state, under conditions of technogenic environmental stress. It was established that Aminoseleferon-B contributed to the activation of humoral and cellular links of nonspecific immunity, the reduction of birth and postpartum pathology, the increase in the effectiveness of treatment, and the improvement of reproductive function.

Key words: highly productive cows, environment, technogenic impact, immunodeficiency state, Aminoseleferon-B, immune parameters, reproductive health

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

Article history: Received: 10 March 2022. Accepted: 21 April 2022

For citation: Shaposhnikov IT, Kotsarev VN, Skorikov VN. The effectiveness of the use of Aminoseleferon-B with immunodeficiency in highly productive cows under conditions of technogenic environmental load. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):221—231. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-221-231

Введение

При загрязнении окружающей среды токсическими веществами в результате функционирования крупных промышленных предприятий, химизации в сельскохозяйственном производстве в почве, воде, кормах и организме животных накапливаются ксенобиотики [1—4]. Постоянное воздействие токсикантов на животных приводит к изменению течения метаболических процессов в организме,

ослаблению функции механизмов, обеспечивающих в нем неспецифическую резистентность [5—8]. При этом активизация резервных механизмов иммунной системы у животных сменяется нарушением иммунной регуляции с последующим развитием экологически обусловленного вторичного иммунодефицита [9—12].

Высокопродуктивные коровы с интенсивным обменом веществ и более чувствительной нейрогуморальной системой восприимчивы к самым незначительным нарушениям условий внешней среды и реагируют на них выраженным нарушением обменных процессов в организме, затрагивающим иммунобиологический статус, приводящим к расстройству воспроизводительной функции и другим патологическим состояниям [5, 9, 11, 13—15]. В связи с этим в регионах, подверженных техногенному воздействию на окружающую среду, для снижения антропогенной нагрузки на организм животных применяют средства, улучшающие функционирование иммунной системы [16, 17].

Цель исследования — изучение эффективности применения Аминоселеферона-Б для коррекции иммунного статуса у коров при иммунодефицитном состоянии в условиях техногенной нагрузки на окружающую среду.

Материалы и методы исследований

Исследования выполнены в условиях крупного молочного комплекса Воронежской области, расположенного в 25 км от химического завода по производству минеральных удобрений: аммиака, аммиачной селитры, азотной кислоты с общими выбросами во внешнюю среду в количестве 5316,5 т в год, в т.ч. газообразных — 4480,3 т в год. В составе факельных выбросов в атмосферу — диоксид азота, аммиак, фтористый водород, диоксид серы, метан, углекислый газ, фенол, формальдегид. Содержание ртути, мышьяка, нитратов и нитритов в пробах почвы на территории комплекса превышало их концентрацию в почве хозяйства, находящегося в местности с отсутствием промышленных производств, соответственно в 5,0; 2,3; 1,4 и 1,5 раза. В питьевой воде было железа в 1,2 раза, цинка — в 19,0 раз, марганца — в 1,3 раза, меди — в 1,6 раза, мышьяка — в 8,0 раз, нитратов — в 1,3 раза, нитритов — в 1,7 раза больше, чем в контрольном хозяйстве без техногенной нагрузки на окружающую среду. В кормах наблюдалось превышение: в кукурузном силосе — цинка в 1,4, меди в 1,6, мышьяка в 1,3, нитратов в 1,2, нитритов в 1,3 раза; в монокорме — мышьяка в 1,4, нитратов в 1,3, нитритов в 1,2 раза, при наличии ртути в кукурузном силосе и монокорме и ее отсутствии в кормах сравниваемого хозяйства.

Величины перечисленных показателей, установленные в почве, воде и кормах хозяйства с техногенной нагрузкой на окружающую среду, не превышали значения предельно допустимых концентраций (ПДК).

Имунобиохимический статус коров характеризовался более низким течением эритропоэза, меньшим содержанием в сыворотке крови γ -глобулинов (на 12,6...16,6 %), недостаточностью Т-клеточного и напряженностью В-клеточного звеньев иммунитета, меньшей бактерицидной (на 10,9...12,4 %) и лизоцимной (на 24,6...32,4 %) активностью сыворотки крови, более высоким (в 1,7...2,5 раза)

уровнем циркулирующих иммунных комплексов, накоплением в организме средне-молекулярных пептидов и нарастанием эндогенной интоксикации.

Опыты проведены на 30 коровах черно-пестрой породы с годовой продуктивностью около 7 000 л молока, которые за две недели до отела были разделены на три группы. Коровам первой группы ($n = 10$) препараты не назначали, и они служили контролем. Животным второй группы ($n = 10$) вводили подкожно плаценту денатурированную эмульгированную (ПДЭ) в дозе 20 мл на животное трехкратно с интервалом 48 ч (группа сравнения), а третьей группы ($n = 10$) — подкожно Аминоселеферон-Б в дозе 10 мл на животное трехкратно с интервалом 48 ч. В послеродовой период коровам вводили препараты повторно по приведенным схемам с назначением животным с признаками эндометрита антимикробных (внутриматочное введение тилозинокара в дозе 20 мл/100 кг массы тела с интервалом 48 ч) и утеротонических (внутримышечное введение утеротона в дозе 10 мл на животное с интервалом 48 ч) средств.

На ротяжении опыта за коровами вели наблюдение, учитывали сроки отела, характер течения родов и послеродового периода, период от отела до плодотворного осеменения.

В начале опыта (во время сухостоя) и через 10 суток после последней инъекции препаратов от 5 коров из каждой группы были получены пробы крови для лабораторных исследований. В крови и сыворотке крови определяли общие иммуноглобулины, бактерицидную активность сыворотки крови (БАСК), лизоцимную активность сыворотки крови (ЛАСК), циркулирующие иммунные комплексы (ЦИК), Т-лимфоциты, В-лимфоциты, фагоцитарную активность лейкоцитов (ФАЛ), фагоцитарный индекс (ФИ), фагоцитарное число (ФЧ).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием компьютерных статистических программ Statistica 8.0 (Stat Soft Inc., США) и Microsoft Excel.

Результаты исследований и обсуждение

Фоновыми исследованиями не выявлено значительной разницы в значениях показателей крови, характеризующих состояние иммунного статуса подопытных коров (табл. 1).

Таблица 1

Иммунологические показатели коров

Показатели	Группы животных		
	Первая	Вторая	Третья
До введения препаратов			
Общие иммуноглобулины, г/л	32,28±1,58	31,65±1,43	31,47±1,29
БАСК, %	76,23±1,36	76,41±1,09	75,84±1,20
ЛАСК, мкг/мл	1,62±0,065	1,67±0,093	1,60±0,048

Окончание табл. 1

Показатели	Группы животных		
	Первая	Вторая	Третья
ЦИК, г/л	0,858±0,042	0,792±0,053	0,864±0,034
Т-лимфоциты,%	30,26±1,17	30,69±1,19	30,12±0,96
В-лимфоциты,%	14,72±0,20	14,43±0,21	14,34±0,20
ФАЛ,%	73,36±1,56	73,51±1,95	72,84±1,17
ФИ, ед.	3,62±0,21	3,58±0,18	3,42±0,16
ФЧ, ед.	2,68±0,10	2,52±0,14	2,47±0,13
После введения препаратов			
Общие иммуноглобулины, г/л	30,73±1,17	35,28±1,31°	36,72±1,11 ^{°°}
БАСК,%	77,16±1,23	82,33±1,18 ^{**°}	84,72±1,25 ^{***°°°}
ЛАСК, мкг/мл	1,68±0,053	1,88±0,042°	1,97±0,051 ^{***°°°}
ЦИК, г/л	0,869±0,086	0,540±0,079 [°]	0,521±0,065 ^{**°}
Т-лимфоциты,%	29,43±0,96	34,62±1,12 ^{°°°}	37,25±1,14 ^{***°°°}
В-лимфоциты,%	14,20±0,42	16,25±0,44 ^{***°°}	17,46±0,34 ^{***°°°}
ФАЛ,%	72,09±1,93	79,64±1,48 ^{°°}	82,18±1,14 ^{***°°°}
ФИ, ед.	3,47±0,27	4,18±0,27	4,21±0,22 [*]
ФЧ, ед.	2,63±0,09	2,95±0,16	3,26±0,12 ^{***°°}

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – к исходным данным; ° – $p < 0,05$; °° – $p < 0,01$;°°° – $p < 0,001$ – к первой группе.

Table 1

Immunological indicators of cows

Indicators	Animal groups		
	First	Second	Third
Before drug administration			
General immunoglobulins, g/l	32.28±1.58	31.65±1.43	31.47±1.29
BABS,%	76.23±1.36	76.41±1.09	75.84±1.20
LABS, mkg/ml	1.62±0.065	1.67±0.093	1.60±0.048
CIC, g/l	0.858±0.042	0.792±0.053	0.864±0.034
T-lymphocytes,%	30.26±1.17	30.69±1.19	30.12±0.96
B-lymphocytes,%	14.72±0.20	14.43±0.21	14.34±0.20
PAL,%	73.36±1.56	73.51±1.95	72.84±1.17
PI, units	3.62±0.21	3.58±0.18	3.42±0.16
PN, units	2.68±0.10	2.52±0.14	2.47±0.13
After drug administration			
General immunoglobulins, g/l	30.73±1.17	35.28±1.31°	36.72±1.11 ^{°°}
BABS,%	77.16±1.23	82.33±1.18 ^{**°}	84.72±1.25 ^{***°°°}
LABS, mkg/ml	1.68±0.053	1.88±0.042°	1.97±0.051 ^{***°°°}
CIC, g/l	0.869±0.086	0.540±0.079 [°]	0.521±0.065 ^{**°}
T-lymphocytes,%	29.43±0.96	34.62±1.12 ^{°°°}	37.25±1.14 ^{***°°°}
B-lymphocytes,%	14.20±0.42	16.25±0.44 ^{***°°}	17.46±0.34 ^{***°°°}
PAL,%	72.09±1.93	79.64±1.48 ^{°°}	82.18±1.14 ^{***°°°}
PI, units	3.47±0.27	4.18±0.27	4.21±0.22 [*]
PN, units	2.63±0.09	2.95±0.16	3.26±0.12 ^{***°°}

Note: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ – to the initial data; ° – $p < 0,05$; °° – $p < 0,01$;°°° – $p < 0,001$ – to the first group.

При повторном исследовании крови у коров контрольной группы наблюдались незначительные отклонения в показателях иммунного статуса от исходных данных.

В группах животных с применением ПДЭ и Аминоселеферона–Б имело место повышение цифровых значений иммунного статуса, свидетельствующих об усилении неспецифического иммунитета. Так после введения ПДЭ у коров возросло содержание общих иммуноглобулинов на 11,5, БАСК—на 7,7 ($p < 0,01$), ЛАСК—на 12,6 % при уменьшении величины ЦИК на 31,8 % ($p < 0,05$). Количество Т–лимфоцитов стало больше на 12,8 ($p < 0,05$), В–лимфоцитов—на 15,2 % ($p < 0,01$). Показатель ФАЛ повысился на 7,9 ($p < 0,05$), ФИ—на 16,8, ФЧ—на 17,1 %.

После применения Аминоселеферона–Б у коров повысилось содержание общих иммуноглобулинов на 16,7 ($p < 0,05$), БАСК—на 11,2 ($p < 0,001$), ЛАСК—на 23,1 % ($p < 0,001$), концентрация ЦИК стала меньше на 39,7 % ($p < 0,002$). Количество Т–лимфоцитов возросло на 23,7 ($p < 0,001$), В–лимфоцитов—на 21,8 % ($p < 0,001$), Показатель ФАЛ стал больше на 12,8 ($p < 0,001$), ФИ—на 23,1 ($p < 0,02$), ФЧ—на 32,0 % ($p < 0,01$).

Применение ПДЭ и Аминоселеферона–Б благоприятно отразилось на характере течения у коров родов и послеродового периода. Патологию родового акта у коров второй и третьей групп по отношению к животным первой группы регистрировали реже в 1,5 раза, послеродовую—соответственно в 1,4 и 2,3 раза, в т.ч. эндометрит—в 1,7 и 2,5 раза (табл. 2).

Таблица 2

Степень проявления родовых и послеродовых болезней

Показатели	Группы коров		
	Первая	Вторая	Третья
Патология родов всего, гол./%: в т.ч. трудные роды, гол./% задержание последа, гол./%	3/30,0 2/20,0 1/10,0	2/20,0 1/10,0 1/10,0	2/20,0 2/20,0 0/0
Патология послеродового периода всего, гол./% в т.ч. субинволюция матки, гол./%, эндометрит, гол./%	7/70,0 2/20,0 5/50,0	5/50,0 2/20,0 3/30,0	3/30,0 1/10,0 2/20,0

Table 2

The degree of manifestation of birth and postpartum diseases

Indicators	Groups of cows		
	First	Second	Third
Pathology of childbirth, heads /%: including difficult birthers, heads/% retention of placenta, heads /%	3/30.0 2/20.0 1/10.0	2/20.0 1/10.0 1/10.0	2/20.0 2/20.0 0/0
Pathology of the postpartum period, heads /% subinvolution of the uterus, heads /% endometritis, heads /%	7/70.0 2/20.0 5/50.0	5/50.0 2/20.0 3/30.0	3/30.0 1/10.0 2/20.0

После проведенного лечения выздоровление наступило у всех заболевших животных (табл. 3). Для получения терапевтического эффекта в контрольной группе на одно животное выполнено $6,8 \pm 0,42$ введений препаратов и продолжительность терапии составила $9,5 \pm 0,71$ дня. В группах животных с применением ПДЭ и Аминоселеферона–Б потребовалось меньше таких введений соответственно в 1,3 ($p < 0,02$) и 1,4 раза ($p < 0,01$). Продолжительность лечения была короче соответственно на 2,1 ($p < 0,05$) и 2,8 ($p < 0,02$) дня.

Таблица 3

Показатели эффективности лечения коров с послеродовой патологией

Показатели	Группы коров		
	первая	вторая	третья
Подвергнуто лечению коров, гол.	7	5	3
Выздоровело, гол.	7	5	3
Терапевтический эффект, %	100	100	100
Количество введений препаратов	$6,8 \pm 0,42$	$5,2 \pm 0,37^*$	$4,8 \pm 0,31^{**}$
Продолжительность лечения, дней	$9,5 \pm 0,71$	$7,4 \pm 0,46^*$	$6,7 \pm 0,52^*$

Примечание: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ – к первой группе.

Table 3

Indicators of the effectiveness of the treatment of cows with postpartum pathology

Indicators	Groups of cows		
	First	Second	Third
Treated cows, heads	7	5	3
Recovered, heads	7	5	3
Therapeutic effect, %	100	100	100
Number of drug injections	6.8 ± 0.42	$5.2 \pm 0.37^*$	$4.8 \pm 0.31^{**}$
Duration of treatment, days	9.5 ± 0.71	$7.4 \pm 0.46^*$	$6.7 \pm 0.52^*$

Note: * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$ – to the initial data.

Положительное влияние препаратов на характер течение родов и послеродового периода у коров благоприятно отразилось на функциональном состоянии воспроизводительной системы (табл. 4).

Таблица 4

Показатели воспроизводительной функции у коров

Показатели	Группы коров		
	Первая	Вторая	Третья
Период от отела до оплодотворения, дней	$114,3 \pm 10,2$	$99,2 \pm 11,4$	$96,5 \pm 10,4$
Оплодотворяемость по первому осеменению, %	50,0	60,0	60,0
Индекс осеменения, ед.	$2,8 \pm 0,24$	$2,5 \pm 0,20$	$2,3 \pm 0,22$

Indicators of reproductive function in cows

Indicators	Groups of cows		
	First	Second	Third
Period from calving to fertilization, days	114.3±10.2	99.2±11.4	96.5±10,4
Fertility at the first insemination,%	50.0	60.0	60.0
Insemination index, units	2.8±0.24	2.5±0.20	2.3±0.22

Продолжительность периода от отела до плодотворного осеменения у коров контрольной группы составила $114,3 \pm 10,2$ дня, оплодотворяемость по первому осеменению — 50 %, индекс осеменения — $2,8 \pm 0,24$ единиц. При применении ПДЭ и Аминоселеферона–Б период от отела до плодотворного осеменения был меньше соответственно на 15,1 и 17,8 дня, оплодотворяемость по первому осеменению — выше на 10,0 и 10,0 %, индекс осеменения — меньше на 10,7 и 17,9 %.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что применение высокопродуктивным коровам ПДЭ и Аминоселеферон–Б способствуют повышению иммунного статуса у коров, находящихся в условиях техногенной нагрузки на окружающую среду. Если у интактных коров в сравнении с данными, полученными при фоновых исследованиях, регистрировали незначительное снижение содержания общих иммуноглобулинов (на 4,8 %), Т–лимфоцитов (на 2,7 %), В–лимфоцитов (на 3,5 %), ФИ (на 4,1 %), тенденцию уменьшения ФАЛ, ФЧ, повышения БАСК, ЛАСК и ЦИК, то у животных с применением ПДЭ и Аминоселеферона–Б происходили значительные изменения в показателях иммунного статуса.

У коров, которым вводили ПДЭ, было выше по отношению к контролю содержание общих иммуноглобулинов на 14,8 ($p < 0,05$), БАСК — на 6,7 ($p < 0,02$), ЛАСК — на 11,9 ($p < 0,05$) при меньшем значении ЦИК — на 37,9 % ($p < 0,05$). Количество Т–лимфоцитов превышало показатели контроля на 17,6 ($p < 0,01$), В–лимфоцитов — на 14,4 ($p < 0,01$), ФАЛ — на 10,5 ($p < 0,02$), ФИ — на 20,5, ФЧ — на 12,2 %.

Применение Аминоселеферона–Б оказывало более активизирующее влияние на гуморальный и клеточный иммунитет коров. В сравнении с контролем у них содержалось больше общих иммуноглобулинов на 19,5 % ($p < 0,01$), выше значения БАСК — на 9,8 ($p < 0,01$), ЛАСК — на 17,3 % ($p < 0,001$), меньше величины ЦИК — на 40,0 % ($p < 0,02$). Количество Т–лимфоцитов превышало показатели контроля на 26,6 ($p < 0,001$), В–лимфоцитов — на 23,0 ($p < 0,001$), величины ФАЛ — на 14,0 ($p < 0,002$), ФИ — на 21,3, ФЧ — на 24,0 % ($p < 0,01$). По отношению к животным, получавшим ПДЭ, иммунный статус коров, получавших Аминоселеферон–Б, характеризовался большим содержанием Т–лимфоцитов на 7,6, В–лимфоцитов — на 7,4, ФИ — на 10,5 % при менее выраженной разнице в других показателях неспецифического иммунитета.

В результате повышения иммунного статуса под влиянием препаратов у коров реже регистрировали послеродовую патологию, протекающую в виде острого послеродового эндометрита. Активизация регенеративных процессов в эндометрии,

течения трофических и пластических процессов, снижение антигенной нагрузки и усиление резистентности организма животных способствовали уменьшению продолжительности терапии коров, сокращению периода от отела до плодотворного осеменения, повышению оплодотворяемости.

У коров, которым применяли Аминоселеферон–Б, по отношению к животным с назначением ПДЭ меньше регистрировали послеродовую патологию, проявившуюся в форме эндометрита в 1,5 раза. Период от отела до плодотворного осеменения был короче на 2,7 дня, индекс осеменения меньше на 8,0 %.

Заключение

Назначение за две недели до отела Аминоселеферона–Б высокопродуктивным коровам, находящимся в условиях техногенной нагрузки на окружающую среду, способствовало повышению у животных содержания общих иммуноглобулинов, бактерицидной и лизоцимной активности сыворотки крови, синтезу иммунокомпетентных клеток, усилению поглотительной активности нейтрофильных гранулоцитов, оказав тем самым активизирующее действие на естественную резистентность, клеточное и гуморальное звенья иммунной системы, клинически проявившееся уменьшением родовых и послеродовых осложнений, сокращением продолжительности лечения и периода от отела до плодотворного осеменения, повышением оплодотворяемости. По своей эффективности Аминоселеферона–Б превосходил плаценту денатурированную эмульгированную.

References / Библиографический список

1. Lifshits S, Glyaznetsova Y, Erofeevskaya L, Chalaya O, Zueva I. Effect of oil pollution on the ecological condition of soils and bottom sediments of the arctic region (Yakutia). *Environ Pollut*. 2021;288:117680. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117680
2. Kalugina OV, Shergina OV, Mikhailova TA. Ecological condition of natural forests located within the territory of a large industrial center, Eastern Siberia, Russia. *Environ Sci Pollut Res*. 2020;27(18):22400—22413. doi: 10.1007/s11356-020-08718-z
3. Vatnikov Y, Donnik I, Kulikov E, Karamyan A, Notina E, Bykova I, Bannoud G, Bondareva I, Shlindova E, Sotnikova E, Lenchenko E, Rudenko A, Rudenko V, Rudenko P. Effectiveness of *Hypericum perforatum* L. phytosorbent as a part of complex therapy for acute non-specific bronchopneumonia. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2020;12(S.1):1108—1116. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.165
4. Frie MC, Sporer KR, Wallace JC, Maes RK, Sordillo LM, Bartlett PC, Coussens PM. Reduced humoral immunity and atypical cell-mediated immunity in response to vaccination in cows naturally infected with bovine leukemia virus. *Vet Immunol Immunopathol*. 2016;182:125—135. doi: 10.1016/j.vetimm.2016.10.013
5. Shaposhnikov IT, Kotsarev VN, Brigadirov YN, Statsenko EI, Lobanov AE. Hematological and immunobiochemical status of highly productive cows in the area of industrial emissions into the atmosphere. *Bulletin of veterinary pharmacology*. 2018;(1):87—93. (In Russ). doi: 10.17238/issn2541-8203.2018.1.87
Шapoшников И.Т., Кoтсарев В.Н., Бригадиpов Ю.Н., Стaценкo Е.И., Лoбанoв А.Э. Гематoлогический и иммунобиoхимический статус высокопродуктивных корoв в зоне промышленных выбросов в атмосферу // Ветеринарный фармакологический вестник. 2018. № 1(2). С. 87—93. doi: 10.17238/issn2541-8203.2018.1.87
6. Rudenko P, Sachivkina N, Vatnikov Y, Shabunin S, Engashev S, Kontsevaya S, Karamyan A, Bokov D, Kuznetsova O, Vasilieva E. Role of microorganisms isolated from cows with mastitis in Moscow region in biofilm formation. *Veterinary World*. 2021;14(1):40—48. doi: 10.14202/vetworld.2021.40-48

7. Albernaz TT, Leite RC, Reis JK, de Sousa Rodrigues AP, da Cunha Kassar T, Resende CF, de Oliveira CH, Silva Rd, Salvarani FM, Barbosa JD. Molecular detection of bovine immunodeficiency virus in water buffaloes (*Bubalus bubalis*) from the Amazon region, Brazil. *Trop Anim Health Prod.* 2015;47(8):1625–1628. doi: 10.1007/s11250-015-0884-6
8. Vatnikov Y, Shabunin S, Kulikov E, Karamyan A, Murylev V, Elizarov P, Kuznetsova O, Vasilieva E, Petukhov N, Shopinskaya M, Rudenko A, Rudenko P. The efficiency of therapy the piglets gastroenteritis with combination of Enrofloxacin and phytosorbent *Hypericum perforatum* L. *International Journal of Pharmaceutical Research.* 2020;12(S.2):3064–3073. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP2.373
9. Zamotaiev OM, Postupalenko VY, Shvadchak VV, Pivovarenko VG, Klymchenko AS, Mély Y. Improved hydration-sensitive dual-fluorescence labels for monitoring peptide-nucleic acid interactions. *Bioconjug Chem.* 2011;22(1):101–107. doi: 10.1021/bc100434d
10. Palikov VA, Palikova YA, Borozdina NA, Nesmeyanova EN, Rudenko PA, Kazakov VA, Kalabina EA, Bukatin MV, Zharmukhamedova TYu, Khokhlova ON, Dyachenko IA. A novel view of the problem of Osteoarthritis in experimental rat model. *Research Results in Pharmacology.* 2020; 6(2):19–25. doi: 10.3897/rppharmacology.6.51772
11. Rajawat YS, Humbert O, Kiem HP. In-vivo gene therapy with foamy virus vectors. *Viruses.* 2019; 11(12):1091. doi: 10.3390/v11121091
12. Shaposhnikov IT, Kotsarev VN, Mikhailov EV, Chusova GG. Some indicators of the clinical state of highly productive cows with different functional activity of the liver, which are in conditions of ecological trouble. *Bulletin of veterinary pharmacology.* 2020;1(10):86–95. (In Russ). doi: 10.17238/issn2541-8203.2020.1.86
- Шапошников И.Т., Коцарев В.Н., Михайлов Е.В., Чусова Г.Г. Некоторые показатели клинического состояния высокопродуктивных коров с различной функциональной активностью печени, находящихся в условиях экологического неблагополучия // Ветеринарный фармакологический вестник. 2020. № 1(10). С. 86–95. doi: 10.17238/issn2541-8203.2020.1.86
13. Vatnikov Y, Yousefi M, Engashev S, Rudenko P, Lutsay V, Kulikov E, Karamyan A, Dremova T, Tadzhieva A, Strizhakov A, Kuznetsov V, Yagnikov S. Clinical and hematological parameters for selecting the optimal dose of the phytopreparation «Deprim», containing an extract of the herb *Hypericum perforatum* L., in husbandry. *International Journal of Pharmaceutical Research.* 2020; 12(S.1):2731–2742. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP1.401
14. Wisniewski L, Norby B, Gandy J, Byrem TM, Sordillo LM. Changes in bovine leukemia virus serological status and lymphocyte count between dry-off and early lactation in Michigan dairy cows. *J Dairy Sci.* 2020; 103(10):9473–9480. doi: 10.3168/jds.2019-17839
15. Marawan MA, Alouffi A, El Tokhy S, Badawy S, Shirani I, Dawood A, Guo A, Almutairi MM, Alshammari FA, Selim A. Bovine Leukaemia Virus: current epidemiological circumstance and future prospective. *Viruses.* 2021;13(11):2167. doi: 10.3390/v13112167
16. Vatnikov Y, Donnik I, Kulikov E, Karamyan A, Sachivkina N, Rudenko P, Tumanyan A, Khairova N, Romanova E, Gurina R, Sotnikova E, Bondareva I. Research on the antibacterial and antimycotic effect of the phytopreparation Farnesol on biofilm-forming microorganisms in veterinary medicine. *International Journal of Pharmaceutical Research.* 2020;12(S.2):1481–1492. doi: 10.31838/ijpr/2020.SP2.164
17. Erskine RJ, Bartlett PC, Byrem TM, Render CL, Febvay C, Houseman JT. Association between bovine leukemia virus, production, and population age in Michigan dairy herds. *J Dairy Sci.* 2012;95(2):727–734. doi: 10.3168/jds.2011-4760

Об авторах:

Шапошников Иван Тихонович — доктор биологических наук, заведующий лабораторией токсикологии, оценки рисков безопасности сырья и продуктов биологического происхождения, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 114 б; e-mail: 36011958@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0190-9083

Коцарев Владимир Николаевич — доктор ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 114 б; e-mail: ldmvdc@mail.ru
ORCID:0000-0002-9114-7176

Скориков Владимир Николаевич — кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии, Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 114 б; e-mail: skorikov75@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-3135-5811

About authors:

Shaposhnikov Ivan Tikhonovich — Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Toxicology, Risk Assessment of the Safety of Raw Materials and Products of Biological Origin, Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114 b Lomonosov st., Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: 36011958@mail.ru
ORCID: 0000-0003-0190-9083

Kotsarev Vladimir Nikolaevich — Doctor of Veterinary Sciences, Leading Researcher, Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114 b Lomonosov st., Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: ldmvdc@mail.ru
ORCID: 0000-0002-9114-7176

Skorikov Vladimir Nikolaevich — Candidate of Veterinary Sciences, Senior Researcher, Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, 114 b Lomonosov st., Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: skorikov75@yandex.ru
ORCID: 0000-0002-3135-5811



Управление рисками в сельском хозяйстве Risk management in agriculture


DOI: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-232-244

УДК 631.5:338.27:338.439.222

Научная статья / Research article

Методический подход к оценке рисков возможного недобора урожая при реализации агротехнологий

В.В. Якушев  , В.В. Воропаев , В.С. Ломакин 

Агрофизический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
 mail@agrophys.com

Аннотация. Исследованы методы оценки рисков в процессе принятия решений по управлению агротехнологиями с целью разработки методического подхода к оценке рисков возможного недобора урожая при отклонениях от проектных параметров в процессе реализации. В исследовании использованы методики анализа информации из предметной области управления рисками. Составлен реестр возможных отклонений проектных значений параметров процессов при реализации агротехнологий. Разработан новый подход к оценке рисков возможного недобора урожая в ходе реализации агротехнологии с отклонениями параметров процессов от проектных значений. Использование предлагаемого подхода обеспечит автоматизированное ранжирование вариантов принимаемых решений по степени риска возможного недобора урожая при отклонении от проектных значений параметров реализуемых технологических процессов, что будет способствовать переходу к интеллектуальному управлению растениеводством.

Ключевые слова: риск, недобор урожая, управление, ранжирование вариантов решений, автоматизация управления растениеводством

© Якушев В.В., Воропаев В.В., Ломакин В.С., 2022



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.

История статьи: поступила в редакцию 21 апреля 2021 г., принята к публикации 22 марта 2022 г.

Для цитирования: Якушев В.В., Воронаев В.В., Ломакин В.С. Методический подход к оценке рисков возможного недобора урожая при реализации агротехнологий // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2022. Т. 17. № 2. С. 232—244. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-232-244

Methodical approach to assessing risks of possible yield losses during implementation of agricultural technologies

Vyacheslav V. Yakushev  , Valeriy V. Voropayev , Vladimir S. Lomakin 

Agrophysical Research Institute, Saint Petersburg, Russian Federation
 mail@agrophys.com

Abstract: The methods of risk assessment and decision-making in the management of agrotechnology were studied in order to develop a methodical approach to assessing the risks of possible yield losses in case of deviations from the project parameters in the implementation of agrotechnology. The study uses methods of analyzing information from the subject area of risk management in the management of agricultural technology. A registry of possible deviations in the design values of process parameters in the implementation of agricultural technologies has been compiled. A new approach has been developed to assess the risks of possible yield losses in the implementation of agrotechnology with deviations in process parameters from project values. Using the proposed approach will provide an automated ranking of options for decisions on the degree of risk of possible crop failure in case of deviations from the designed values, which will facilitate the transition to intelligent management of crop production.

Keywords: risk, yield losses, management, ranking of options, automated crop management

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

Article history: Received: 21 April 2021. Accepted: 22 March 2022

For citation: Yakushev VV, Voropayev VV, Lomakin VS. Methodical approach to assessing risks of possible yield losses during implementation of agricultural technologies. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022;17(2):232—244. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-2-232-244

Введение

Лица, принимающие решения (далее ЛПР) при управлении агротехнологиями, несут личную ответственность за своевременный и безопасный выпуск заданного количества продукции растениеводства. Для них процесс управления производством продукции растениеводства (далее управление агротехнологиями) состоит из серии

многоходовых задач, в которых необходимо в режиме реального времени просчитать множество возможных вариантов решений по одним исходным данным и выбрать единственный вариант для реализации, соответствующий прогнозу развития условий производства при минимальном риске потерь урожая. Реализуя процесс управления агротехнологиями ЛПР делает два вида прогнозов для подконтрольной территории: прогноз развития природных условий, которые влияют на урожай независимо от его решений и действий; прогноз развития растений как управляемый производственный процесс, в котором ЛПР через свои решения формирует заданный урожай. Принимая управленческие решения, ЛПР учитывает вероятность риска недобора урожая как от погодных условий, так и от действий субъектов-исполнителей, по тем или иным причинам допускающим реализацию агротехнологии с отклонениями параметров процессов от проектных (заданных) значений [1]. Методы оценки вероятности риска недобора урожая из-за неблагоприятных природных условий разработаны, в т.ч. с учетом статистики метеонаблюдений по регионам. На этой основе рассчитывают страховые компенсирующие мероприятия по возмещению убытков от неблагоприятных природных явлений [2, 3].

Методические подходы к оценке вероятности рисков недобора урожая из-за ошибок в решениях ЛПР или действий исполнителей исследованы недостаточно и находятся в стадии изучения. На практике для снижения рисков потерь урожая принято в конце каждого производственного цикла анализировать результаты действий исполнителей с целью выявления субъективных ошибок и принятия мер для их исключения в последующих циклах [4, 5]. Таким образом ЛПР и субъекты-исполнители накапливают личный опыт управления агротехнологией в ручном режиме. Однако, машинные агротехнологии, постоянно совершенствуясь на основе научных достижений, достигли такой степени сложности и интенсивности, что у ЛПР и исполнителей решений возникает острая нехватка времени для обработки информации, ведущей к увеличению числа ошибок. Риск недобора урожая из-за событий-ошибок перерастает в проблему, требующую решения¹ [6–8]. Для снижения вероятности риска ошибок управления ученые рекомендуют передавать отдельные функции ЛПР роботам, что в итоге должно обеспечить постепенный переход к управлению агротехнологиями на основе принципов интеллектуального (точного) земледелия. Этот процесс идет через разработку и внедрение систем поддержки решений (далее СППР) на основе цифровых моделей агротехнологий [9] и автоматизированных рабочих мест (далее АРМ) для ЛПР² [5, 10].

Одной из задач таких СППР является автоматизированный расчет вариантов управленческих решений по одним исходным данным. При этом человек выполняет выбор пригодного для реализации варианта и его подготовку для ввода в систему управления робота. Кроме того, появляется возможность опережающей разработки компенсирующих мероприятий в соответствии с выявленными рисками

¹ Новиков В. Сто ошибок агронома // Сайт agrobok. Режим доступа: <https://agrobok.ru/blog/tags/sto-oshibok-agronoma> Дата обращения: 18.07.2019.

² Точное сельское хозяйство / Д. Шпаар, В.А. Захаренко, В.П. Якушев, Н.В. Арефьев, Х. Ауернхаммер, Р. Брунш, П. Вагнер, Г. Вартенберг, К.О. Венкель, А. Вернер, Д. Войтук, Р. Герхардс, К. Даммер, Б. Домен, С. Каленская, О. Кауфманн, А. Клочков, С. Кохан, П. Ляйтхольд, А. Лысов // под общей ред. Д. Шпаара, А.В. Захаренко, В.П. Якушева. Санкт-Петербург-Пушкин, 2009. 397 с.

потери урожая. Наша рабочая гипотеза заключается в том, что если разработать и применить в СППР методику автоматизированного ранжирования вариантов управленческих решений по степени риска возможного недобора урожая при их реализации, то уменьшится влияние человеческого фактора на процесс выбора и появится возможность опережающей разработки компенсирующих мероприятий в соответствии с выявленными рисками потерь.

Цель исследования — разработка методического подхода к автоматизированному ранжированию вариантов управленческих решений, рассчитываемых в СППР по одним исходным данным и предлагаемых ЛПР для выбора.

Реализацию цели мы рассматриваем как первый шаг к разработке новой методики оценки рисков недобора урожая из-за субъективных ошибок при управлении агротехнологиями.

Использование новой методики на этапе перехода от машинной технологии к «умному земледелию» будет способствовать формированию активной позиции ЛПР при оценке деятельности своей команды в составе сельскохозяйственного предприятия.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований являются типы научно-обоснованных методов оценки рисков и процесс принятия решений ЛПР при управлении агротехнологиями.

Задачи исследований:

— проанализировать основные научно обоснованные методы оценки рисков и выбрать соответствующий задачам исследований;

— исследовать процесс принятия решений ЛПР по управлению агротехнологией, как источник риска, сформулировать темы типичных решений, установить возможные ошибки (рискованные ситуации), оценить их влияние на количественные показатели урожая;

— разработать описание методического подхода к оценке рисков недобора урожая из-за ошибочных решений и действий субъектов, участвующих в управлении агротехнологией;

— оценить возможность применения разработанного методического подхода в СППР для ЛПР и исполнителей, участвующих в управлении агротехнологией.

Применены методики сбора и анализа информации предметной области и синтеза научной продукции на основе материалов исследований.

Результаты исследования и обсуждение

Анализ основных типов методов оценки рисков. Оценка рисков — это определение индивидуальной значимости каждого установленного и исследуемого риска. Методы оценки рисков подразделяются на три группы^{3,4} [11—12].

³ Ротарь М. Десять золотых правил работы с рисками на проекте // Ganttpro. 07.08.2020. Режим доступа: <https://blog.ganttpro.com/ru/pravila-raboty-s-riskami-na-proekte/>

⁴ Картвешвили В.М., Свиридова О.А. Риск-менеджмент. Методы оценки риска. М.: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2017. 120 с.

Количественные методы основаны на анализе и расчете вероятности неблагоприятного события, влекущего ущерб. Количественная мера риска определяется из закона распределения ущерба. Разнообразие мер риска порождает проблему выбора меры, адекватной целям и задачам управления в конкретных условиях. Наиболее часто используются такие меры риска как математическое ожидание, дисперсия, среднееквадратическое отклонение, VaR, полудисперсия. Этот список можно продолжить [13]. Количественные методы дают оценку риска в цифровой форме, что позволяет их эффективно применять при автоматизированном ранжировании в СППР. В данной работе ранжированию подвергаются управленческие решения. Однако, для реализации количественных методов оценки рисков недобора урожая необходимо иметь перечень и количественные характеристики потенциальных источников вреда. В рассматриваемом случае источником вреда являются субъективные ошибки, возможные при принятии управленческих решений. Систематизированный учет таких ошибок в растениеводстве пока не налажен, поэтому на данном этапе исследований пришлось отказаться от использования количественных методов оценки рисков.

Нормативные методы идентификации риска базируются на сопоставлении реальных значений факторов риска с принятыми для них нормативами. Нормативы могут быть рассчитаны на основе экспериментальных данных или установлены количественными методами. Мы не обнаружили нормативов оценки рисков, пригодных для применения в исследуемой области.

Экспертные методы основаны на анализе заключений, мнений и оценок рискованных ситуаций экспертами. Экспертные методы применяются для идентификации риска. К экспертным методам отнесены: метод Делфи, метод сценариев, метод мозгового штурма [14].

Метод Делфи заключается в анализе ответов экспертов на вопросы заранее составленной анкеты о степени риска возникновения того или иного события. Вопросы составляют так, чтобы они сводились к числовой форме ответов. Заполнение анкет производится в несколько туров. Перед каждым туром эксперты обсуждают результаты предыдущего тура и вносят в анкеты корректировки, способствующие объективности оценки рисков. На основании обработки анкет по установленной методике рассчитывают степень риска.

Метод сценариев используют для прогнозирования появления риска путем разработки вариантов (сценариев) развития событий. Общее число сценариев не должно противоречить здравому смыслу, но их список должен быть исчерпывающим. Прогнозирование развития событий производится в рамках каждого варианта (сценария) с целью получения ответов на интересующие исследователя вопросы.

Метод мозгового штурма используют в поисках новых идей для развития производства. Реализация метода заключается в организации собрания экспертов и постановке перед ними задачи по решению проблемы. При выступлениях в собрании эксперты должны придерживаться определенных правил. Например, нельзя критиковать предложения экспертов, но можно развивать чужие идеи и высказывать свои. Ведется аудиозапись дискуссии, которая обрабатывается экспертами

с выделением полезных идей. За 2 часа дискуссии обычно формируется до 100 идей, из которых выделяются 3—5 пригодных для извлечения полезного эффекта.

Для исследования процесса принятия решений по управлению агротехнологией как источника рисков мы применили экспертный метод Делфи. Была организована очно-заочная дискуссия специалистов с практическим опытом работы по управлению агротехнологиями. При исследовании специалисты идентифицировали и характеризовали влияние ошибок в управленческих решениях на недобор урожая и риск их возникновения. Как источник вреда здесь принимаем вредоносную ошибку, случайно появляющуюся в процессе выработки и принятия управленческих решений. Вероятность ее появления обуславливает возникновение риска недобора урожая.

Результаты исследования процесса принятия решений по управлению агротехнологией как источника риска. Для исследования принято следующее описание процесса управления. ЛПР управляет агротехнологией из 7 технологических процессов, составляющих производственный цикл длительностью календарный год. Процесс управления состоит из подготовки (расчета) управленческих решений и их выполнения в соответствии с временем года и фазами развития растений. Темы управленческих решений повторяются в каждом производственном цикле, т.е. ежегодно. Разрабатывая ежегодно проект агротехнологии, ЛПР полагает, что если решения, заложенные в проект, при реализации будут выполнены с разумной корректировкой в оптимальные агротехнические сроки с соблюдением показателей качества операций, то урожай будет близок к плановому, а риск недобора урожая исключается. Однако, если в решении ЛПР или при его выполнении случайно возникает ошибка, то неизбежно возникает риск недобора урожая. Попытки исправления ошибки возможны, они снижают степень риска, но не гарантируют его исключение. Влияние на урожай каждого события, в т.ч. и ошибки в управленческих решениях ЛПР или исполнителей оценивают при анализе деятельности отрасли растениеводства в конце производственного цикла.

Информация по оценке действий участников управления агротехнологией касается деятельности конкретных членов коллектива, поэтому исследование проведено на условиях анонимности экспертов. Для исследования процесса принятия решений как источника риска применен метод Делфи. Оценку источников риска эксперты выполнили с использованием матрицы рисков (табл. 1).

Таблица 1

Матрица рисков

Вероятность	Описание вероятности	Масштаб последствий				
		1	2	3	4	5
		Незначительный	Небольшой	Средний	Высокий	Крайне высокий
5	Практически достоверно	В	В	В	К	К
4	Весьма вероятно	С	С	В	К	К
3	Возможно	М	С	С	В	В
2	Маловероятно	М	М	С	С	С
1	Крайне маловероятно	М	М	М	М	М

Примечание. М – невысокий риск; С – средний риск; В – высокий риск; К – крайне высокий риск.

Table 1

Risk Matrix

Probability	Probability description	Scale of effects				
		1	2	3	4	5
		Very low	Low	Medium	High	Very high
5	Certain	B	B	B	K	K
4	Almost certain	C	C	B	K	K
3	Probable	M	C	C	B	B
2	Probably not	M	M	C	C	C
1	Almost certainly not	M	M	M	M	M

Note. M – low risk; C – medium risk; B – high risk; K – very high risk.

Перед экспертами поставлены задачи: сформулировать возможные ошибки как источники риска недобора урожая, оценить масштаб последствий ошибки, оценить вероятность появления ошибки в управленческих решениях, оценить уровень риска недобора урожая.

Результаты исследования отражены в табл. 2 и 3. В табл. 2 обобщены результаты дискуссии и анкетирования. В столбце 2 сформулированы участниками дискуссии 13 возможных ошибок в решениях по управлению агротехнологией. Из них 7 связаны с нарушением агротехнических сроков ведения работ и пять с нарушением технологических показателей, установленных регламентом реализации процесса. В столбце 3 сделано описание масштаба возможных последствий от допущенных субъективных ошибок в семи технологических процессах в составе агротехнологий. Возможный недобор урожая из-за субъективных ошибок при управлении разными технологическими процессами оценивается экспертами от 5 до 80 % от запрограммированной величины в зависимости от характера ошибки и процесса, в котором она совершена.

Таблица 2

Масштаб последствий субъективных ошибок при управлении технологическими процессами в составе агротехнологии

Технологический процесс	Описание возможной ошибки	Возможный недобор урожая и другие последствия ошибки
1	2	3
Глубокая обработка почвы (вспашка)	Работа на пересушенной почве	Иссушение и переуплотнение почвы вызывает возрастание ее сопротивления плугу на 150 % (+11...16 л/га дополнительного дизтоплива). При иссушении почвы на глубину 30 см рассчитывать на высокий урожай нет смысла
	Работа на переувлажненной почве	Переувлажненная почва плохо поддается обработке. При обработке образуются огромные пласты, которые быстро пересыхают, что в конечном итоге приводит к увеличению площади поверхности испарения. Вероятность снижения урожая в 1,7–1,8 раза

Технологический процесс	Описание возможной ошибки	Возможный недобор урожая и другие последствия ошибки
1	2	3
Глубокая обработка почвы (вспашка)	Нарушение агротехнических требований (сроков вспашки или предпосевной обработки)	Задержка с проведением предпосевной обработки почвы сдерживает сев. При нарушении оптимальных сроков сева, которые продолжают в течение 5–7 дней после наступления физической спелости почвы, недобор урожая зерна в расчете на один день опоздания с посевом составляет, например, в условиях Беларуси в среднем 0,8 ц/га
Предпосевная обработка почвы	Недостаточная выровненность поля	Снижение урожайности до 30 % из-за просевов и сбоев режимов работы посевных и посадочных машин
Основное внесение удобрений	Повышение дозы	Снижение урожайности зерновых из-за полегания до –43 %, на пропашных культур снижение урожайности из-за распространения болезней
	Занижение дозы	Недостаток азота – снижение урожайности зерновых до 60 %. Недостаток кальция останавливает вегетацию растений. Для пропашных при занижении дозы потери находятся в интервале 30...56 %
Посев (посадка)	Опережение оптимального срока	Потери могут быть до 5 %
	Пропуск оптимального срока	Ячмень: на 20 дней до –30 %; овес: на 20 дней до –20 %; яр. пшеница: на 10...12 дней: до –23...27 %. Потери пропашных могут достигать 1,5...2 % за каждый день пропуска
	Превышение нормы высева	Уменьшаются показатели всех элементов структуры урожая – продуктивная кустистость, количество зерен и масса зерна в колосе, масса 1000 зерен
Уход за посевами	Отклонение от опт. сроков мероприятий	Потери урожая оцениваются в 15...17 %
Уборка	Уборка незрелого урожая	Потери есть, но не оцениваются, качество урожая снижается значительно
	Уборка перезрелого урожая	Задержка уборки на 10...14 дней – потеря урожая до 60 %; Каждый день перестоя урожайность зерновых снижается на 1–2 %, а при неблагоприятных погодных условиях снижается в разы.
Подготовка урожая к хранению	Нарушение режимов сортировки, сушки, охлаждения.	Снижается качество готовой продукции

Table 2

Scale of effects of subjective errors in the management of technological processes as part of agricultural technology

Technological process	Description of possible error	Possible yield losses and other error effects
1	2	3
Deep tillage	Dry soil	Drying and overcompaction of soil causes an increase in its resistance to plow by 150 % (+ 11...16 l/ha of additional diesel fuel). When the soil dries to a depth of 30 cm, it makes no sense to count on a high yield.

Ending of table 2

Technological process	Description of possible error	Possible yield losses and other error effects
1	2	3
Deep tillage	Waterlogged soil	Waterlogged soil is difficult to cultivate. During processing, huge layers are formed, which quickly dry out, it ultimately leads to an increase in evaporation surface area. Probability of yield reduction is by 1.7–1.8 times
	Violation of agrotechnical requirements (terms of plowing or pre-sowing treatment)	The delay in pre-sowing tillage hinders sowing. In case of violation of the optimal sowing time, which lasts for 5–7 days after the onset of physical ripeness of the soil, yield loss per one day of sowing delay averages 0.8 c/ha for Belarus
Pre-sowing tillage	Insufficient field alignment	Yield reduction up to 30 % due to sifting and failures in operation modes of sowing and planting machines
Basic fertilization	Overdosing	Decrease in grain yields due to lodging up to –43 %, in row crops – decrease in yield due to the spread of diseases
	Underdosing	Lack of nitrogen leads to a decrease in grain yields up to 60 %. The lack of calcium stops the vegetation of plants. For row crops, when the dose is underestimated, the losses are in the range of 30...56 %
Sowing (planting)	Ahead of the optimal period	Losses can be up to 5 %
	Missing the optimal time	Barley: 20 days up to –30 %; oats: for 20 days up to –20 %; spring wheat: for 10...12 days: up to –23...27 %. Losses of row crops can reach 1.5...2 % for each day of delay
	Overseeding	All indicators of crop structure are reduced – productive tillering, number of grains and mass of grains per ear, weight of 1000 grains
Crop tending	Deviation from optimal timing of events	Yield losses are estimated at 15...17 %
Harvesting	Harvesting unripe crops	There are losses, but they are not estimated, crop quality is significantly reduced
	Harvesting overripe crops	Harvesting delay by 10...14 days leads to yield loss up to 60 %; every day of overstay, grain yield decreases by 1–2 %, and under adverse weather conditions, it decreases significantly.
Preparing for storage	Violation of the modes of sorting, drying, cooling	Reduced quality of finished products

Оценка ошибок управления по вероятности возникновения, масштабу последствий и уровню риска потерь урожая выполнено по пятибалльным шкалам матрицы рисков. Итоги исследования отражены в табл. 3. Следует отметить, что предлагаемый экспертный метод оценки рисков недобора урожая является приближительным. Более точен количественный метод. Для его реализации необходимо разработать и внедрить методику сбора исходных данных для расчета рисков недобора урожая в сельскохозяйственном предприятии.

Уровни рисков недобора урожая как следствие субъективных ошибок при управлении технологическими процессами в составе агротехнологии

Технологический процесс	Описание возможной ошибки	Оценка масштаба уровня последствий	Оценка вероятности возникновения ошибки	Оценка уровня риска недобора урожая из-за ошибки управления
1	2	3	4	5
Глубокая обработка почвы (вспашка)	Работа на переувлажненной почве	Крайне высокий (5)	Практически достоверно (5)	Крайне высокий (В)
	Работа на пересушенной почве	Крайне высокий (5)	Практически достоверно (5)	Крайне высокий (В)
	Нарушение агротехнических требований (глубина вспашки)	Средний (3)	Весьма вероятно (4)	Средний(С)
Предпосевная обработка почвы	Недостаточная выровненность поля	Средний (3)	Возможно (3)	Средний(С)
Основное внесение удобрений	Повышение дозы	Средний (3)	Маловероятно (2)	Средний (С)
	Занижение дозы	Небольшой (2)	Весьма вероятно (4)	Невысокий риск (М)
Посев (посадка)	Опережение оптимального срока	Небольшой (2)	Маловероятно (2)	Невысокий риск (М)
	Пропуск оптимального срока	средний (3)	Весьма вероятно (4)	Средний (С)
	Превышение нормы высева	Незначительный (1)	Маловероятно (2)	Невысокий (М)
Уход за посевами	Отклонение от оптимальных сроков мероприятий по уходу за растениями	Средний (3)	Возможно (3)	Средний (С)
Уборка	Уборка незрелого урожая	Высокий (4)	Маловероятно (2)	Средний (С)
	Уборка перезрелого урожая	Высокий (4)	Возможно (3)	Высокий (В)
Подготовка урожая к хранению	Нарушение режимов сортировки, сушки, охлаждения	Средний (3)	Возможно (3)	Средний(С)

Table 3

**Risk levels of yield losses as an effect of subjective errors
in the management of agricultural technological processes**

Technological process	Description of possible error	Scale of effects	Probability of an error	Risk level of yield losses due to management error
1	2	3	4	5
Deep tillage	Dry soil	Very high (5)	Certain (5)	Very high (B)
	Waterlogged soil	Very high (5)	Certain (5)	Very high (B)
	Violation of agrotechnical requirements (terms of plowing or pre-sowing treatment)	Medium (3)	Almost certain (4)	Medium (C)
Pre-sowing tillage	Insufficient field alignment	Medium (3)	Probable (3)	Medium (C)
Basic fertilization	Overdosing	Medium (3)	Probably not (2)	Medium (C)
	Underdosing	Low (2)	Almost certain (4)	Low (M)
Sowing (planting)	Ahead of the optimal period	Low (2)	Probably not (2)	Low (M)
	Missing the optimal time	Medium (3)	Almost certain (4)	Medium (C)
	Overseeding	Very low (1)	Probably not (2)	Low (M)
Crop tending	Deviation from optimal timing of events	Medium (3)	Probable (3)	Medium (C)
Harvesting	Harvesting unripe crops	High (4)	Probably not (2)	Medium (C)
	Harvesting overripe crops	High (4)	Probable (3)	High (B)
Preparing for storage	Violation of the modes of sorting, drying, cooling.	Medium (3)	Probable (3)	Medium (C)

Заклучение

Таким образом, исследованием установлено, что риск недобора урожая из-за ошибок при реализации решений по управлению агротехнологией объективно существует и является значительным. Вместе с тем процедура оценки риска недобора урожая при расчете и выборе варианта управленческого решения основана на личном опыте ЛПР без цифровой поддержки. Разработанный новый подход к оценке риска недобора урожая позволяет дополнить процедуру выбора цифровой формой ранжирования вариантов решений по степени риска возможного недобора урожая, что облегчает процедуру выбора, снижает влияние человеческого фактора на конечный результат, позволяет предусмотреть компенсирующие мероприятия. Предлагаемый подход к цифровой форме оценки рисков недобора урожая и веро-

ятности возникновения ошибки на основе матрицы рисков позволит разработать новую методику расчета для автоматизированного режима ранжирования вариантов в СППР.

Библиографический список

1. Кузьменко О.В. Риски в растениеводстве: классификация и способы управления // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2011. № 4. С. 95—100.
2. Плющиков В.Г., Крайнев Н.С., Довлетярова Э.А., Ильясова Н.И. Методические подходы к оценке потерь (недобора) урожая сельскохозяйственных культур от стихийных бедствий и других неблагоприятных условий производства при страховании посевов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2006. № 1. С. 4—9.
3. Чекмарев П.А., Малько А.М., Говоров Д.А., Плющиков В.Г., Живых А.В., Осокин И.В., Татаркин А.В., Кротова С.Е., Сучков Е.В., Бут С.С., Введенский В.В. Методические рекомендации по определению прямых затрат на восстановление объектов сельского хозяйства пострадавших от чрезвычайных ситуаций природного характера в агропромышленном комплексе (включая ЛПХ). М.: Минсельхоз России, 2019. 109 с.
4. Якушев В.В., Ломакин В.С., Часовских С.В., Матвиенко Д.А. Совершенствование управления сельскохозяйственным предприятием с элементами точного земледелия // Агрофизика. 2020. № 4. С. 46—54. doi: 10.25695/AGRPH.2020.04.08
5. Якушев В.В. Точное земледелие — теория и практика: монография. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. 364 с.
6. Поддубная Л.И. Риски производственной деятельности применительно к растениеводству // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. № 2. С. 22—23.
7. Ярая Т.Ю. Классификация сельскохозяйственных рисков и способы их снижения // SCI-ARTICLE. RU. 2014. № 5 (январь)
8. Кондранов П. Управление рисками сельскохозяйственного производства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2009. № 4. С. 20—21.
9. Pylaniadis C., Osinga S., Athanasiadis I.N. Introducing digital twins to agriculture // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 184. P. 105942. doi: 10.1016/j.compag.2020.105942
10. Конев А.В., Ломакин В.С., Матвиенко Д.А., Якушев В.В. Структура представления производственных процессов в системе поддержки принятия агротехнологических решений // Агрофизика. 2018. № 1. С. 24—35. doi: 10.25695/AGRPH.2018.01.04
11. Кузьменко О.В. Управление производственными рисками в сельском хозяйстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. С. 45—46.
12. Рева А.Ф., Рева В.С. Матричный диагностический анализ влияния факторов внешней среды на внутренние производственные процессы сельскохозяйственных предприятий // Вестник аграрной науки Дона. 2013. № 2 (12). С. 48—54.
13. Тихомиров Н.П., Тихомирова Т.М. Риск-анализ в экономике: монография. М.: Экономика, 2010. 317 с.
14. Трейман М.Г., Варыгина О.С. Методы оценки и управления рисками на ресурсосберегающем предприятии // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экономический менеджмент. 2017. № 4. С. 64—73. doi: 10.17586/2310-1172-2017-10-4-64-73

References

1. Kuzmenko OV. Plant growing risks: classification and methods of management. *Bulletin of the Bashkir State Agrarian University*. 2011;(4):95—100.
2. Plushchikov VG, Krainev NS, Dovletyarova EA, Ilyasova NI. Systematic approaches to the estimation of the losses (shortage) of the harvest of agricultural crops from the natural calamities and other unfavorable conditions of production with the insurance of sowings. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2006;(1):4—9.
3. Chekmarev PA, Malko AM, Govorov DA, Plushchikov VG, Zhivykh AV, Osokin IV, et al. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu pryamykh zatrat na vos-stanovlenie ob»ektov sel'skogo khozyaistva postradavshikh ot chrezvychainykh si-tuatsii prirodnogo kharaktera v agropromyshlennom komplekse (vklyuchaya LPKh)* [Guidelines for determining the direct costs of restoring agricultural facilities affected by natural emergencies in the agro-industrial complex (including household plots)]. Moscow; 2019.

4. Yakushev VV, Lomakin VS, Chasovskikh SV, Matveenko DA. Improvement of agricultural enterprise management with precision farming elements. *Agrophysica*. 2020;(4):46–54. doi: 10.25695/AGRPH.2020.04.08
5. Yakushev VV. *Tochnoe zemledelie — teoriya i praktika* [Precision agriculture — theory and practice]. Saint Petersburg: FGBNU AFI publ.; 2016.
6. Poddubnaya LI. Risks of production activities in relation to crop production. *Vestnik of Kursk state agricultural academy*. 2012;(2):22–23.
7. Yaraya TY. Classification of agricultural risks and ways to reduce them. *SCI-ARTICLE.RU*. 2014; (5):234
8. Kondranov P. Management of risks of agricultural production. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2009; (4):20–21.
9. Pylianidis C, Osinga S, Athanasiadis IN. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021;184:105942. doi: 10.1016/j.compag.2020.105942
10. Konev AV, Lomakin VS, Matveenko DA, Yakushev VV. The structure of of production processes in the agrotechnical decision support system. *Agrophysica*. 2018;(1):24–35. doi: 10.25695/AGRPH.2018.01.04
11. Kuzmenko OV. Industrial risk management in agriculture. *International Research Journal*. 2014; (11–3):45–47.
12. Reva AF, Reva VS. Matrix and diagnostic analysis of the environmental factors influence at the internal production processes of agricultural enterprises. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2013;2:48–54.
13. Tikhomirov NP, Tikhomirova TM. *Risk-analiz v ekonomike* [Risk analysis in economics]. Moscow: Ekonomika publ.; 2010.
14. Treiman MG, Varygina OS. Methods for assessing and managing risks on resource-supplying enterprise (for example, PJSC «TGC-1»). *Scientific Journal NRU ITMO. Series: Economics and Environmental Management*. 2017;(4): 64–73. doi: 10.17586/2310-1172-2017-10-4-64-73

Об авторах:

Якушев Вячеслав Викторович — доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией информационного обеспечения точного земледелия, ФГБНУ Агрофизический НИИ, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14; e-mail: mail@agrophys.com
ORCID: 0000-0001-8434-5580

Воробаев Валерий Валерьевич — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории информационного обеспечения точного земледелия, ФГБНУ Агрофизический НИИ, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14; e-mail: valeriy.voropaev.70@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7537-4862.

Ломакин Владимир Серафимович — кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории информационного обеспечения точного земледелия, ФГБНУ Агрофизический НИИ, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14; e-mail: lomakin2014@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-2051-3877

About Authors:

Yakushev Vyacheslav Viktorovich — Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory for Information Support of Precision Farming, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky av., St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: mail@agrophys.com
ORCID: 0000-0001-8434-5580

Voropayev Valeriy Valerievich — Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Laboratory for Information Support of Precision Farming, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky av., St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: valeriy.voropaev.70@mail.ru
ORCID: 0000-0002-7537-4862

Lomakin Vladimir Serafimovich — Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer, Laboratory for Information Support of Precision Farming, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdansky av., St. Petersburg, Russian Federation; e-mail: lomakin2014@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-2051-3877