

Письма

в

**ВАВИЛОВСКИЙ ЖУРНАЛ
ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ**

Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding

2023
М А Р Т

Генетика животных • Селекция растений • Новые российские сорта,
включенные в Госреестр • Письма в редакцию

Том 9
№1

PISMAVAVILOV@BIONET.NSC.RU

ПИСЬМА В ВАВИЛОВСКИЙ ЖУРНАЛ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ

CELL TECHNOLOGIES
REGENERATIVE MEDICINE
INTELLIGENT DATA SCIENCE
SYNTHETIC BIOLOGY
POSTGENOME
RESearch & DEVELOPMENT



Приглашаем принять участие в работе второго международного конгресса “CRISPR-2023”, который состоится 11-13 сентября 2023 года в новосибирском Академгородке.

С момента первого в России международного конгресса, посвященного применению системы CRISPR/Cas9, “CRISPR-2018” прошло пять лет. Технологии редактирования генома стремительно совершенствуются, разделив ход развития науки на «до» и «после» одного из самых знаменитых изобретений биологии. На сегодняшний день CRISPR-системы не только продолжают оставаться объектом и инструментом в фундаментальных исследованиях, но и позволяют исследователям совершать революцию в области медицины, сельского хозяйства, эволюционной и палеобиологии.

Современные реалии ставят перед исследователями, использующими методы геномного редактирования, новые вызовы, требующие комплексного подхода с вовлечением различных областей знаний. Именно поэтому мы расширили спектр направлений, которые будут обсуждаться на конгрессе “CRISPR-2023”:

- Cell Technologies
- Regenerative Medicine
- Intelligent Data Science
- Synthetic Biology
- Postgenome
- Research & Development.

Для участия в конгрессе приглашены ведущие ученые, которые работают на острие современной биологии. По традиции новосибирский Академгородок гостеприимно встретит всех участников конгресса и оставит приятные впечатления своей уникальной научной атмосферой и красотой осенней природы.

Информационный сайт конгресса “CRISPR-2023” <https://conf.icgbio.ru/crispr2023/>

Информационный сайт проведенного нами первого в России международного конгресса “CRISPR-2018” <https://conf.icgbio.ru/crispr2018/>

Пост-релиз первого конгресса “CRISPR-2018” доступен по ссылке https://drive.google.com/file/d/1JssK_uTLyFbYUu3yfgbO8A7cRy6_AHz/view?usp=sharing

Научный рецензируемый журнал
Лисьма



ВАВИЛОВСКИЙ ЖУРНАЛ ГЕНЕТИКИ И СЕЛЕКЦИИ

Основан в 2015 году
Периодичность четыре выпуска в год
DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-01

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН), Новосибирск, Россия

Главный редактор

А.В. Кочетов – академик РАН, д-р биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Заместители главного редактора

Н.П. Гончаров – академик РАН, д-р биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Е.А. Салина – д-р биол. наук, профессор (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Ответственный секретарь

О.Ю. Шоева – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Редакционная коллегия

О.С. Афанасенко – академик РАН, д-р биол. наук, профессор (Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия)

О.В. Ваулин – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

М.А. Вишнякова – д-р биол. наук, профессор (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия)

Т.А. Гавриленко – д-р биол. наук, профессор (Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия)

Ю.Э. Гербек – канд. биол. наук (Еврейский университет в Иерусалиме, Реховот, Израиль)

И.М. Горобей – д-р с.-х. наук, профессор РАН (СО РАН, Новосибирск, Россия)

Е.И. Гулятьева – д-р биол. наук (Всероссийский НИИ защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия)

Н.И. Дубовец – чл.-кор. НАН Беларуси, д-р биол. наук, доцент (Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь)

И.К. Захаров – д-р биол. наук, профессор (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

К.В. Крутовский – канд. биол. наук, профессор (Гёттингенский университет им. Георга-Августа, Гёттинген, Германия)

А.М. Кудрявцев – чл.-кор. РАН, д-р биол. наук (Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия)

С.А. Лашин – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

А.Ю. Летягин – д-р мед. наук, профессор (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

П.Н. Мальчиков – д-р с.-х. наук (Самарский НИИ сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова, пос. Безенчук, Россия)

Е.А. Орлова – канд. с.-х. наук (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

А.С. Пилипенко – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Ю.И. Рагино – чл.-кор. РАН, д-р мед. наук, профессор (НИИТПМ – филиал ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

И.Д. Рашаль – академик АН Латвии, д-р биол. наук, профессор (Институт биологии Латвийского университета, Саласпилс, Латвия)

Р.Р. Садоян – д-р биол. наук, профессор (Армянский государственный педагогический университет им. Х. Абовяна, Ереван, Армения)

А.А. Соловьев – д-р биол. наук, профессор РАН, профессор (Всероссийский центр карантина растений, Москва, Россия)

Н.А. Сурин – академик РАН, д-р с.-х. наук, профессор (Федеральный исследовательский центр КНЦ СО РАН – обособленное подразделение Красноярский НИИ сельского хозяйства, Красноярск, Россия)

В.А. Трифонов – д-р биол. наук, профессор (Институт молекулярной и клеточной биологии СО РАН, Новосибирск, Россия)

В.С. Фишман – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

С.В. Шеховцов – канд. биол. наук (ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия)

Scientific Peer Reviewed Journal

Letters

to **VAVILOV JOURNAL
OF GENETICS AND BREEDING**

Founded in 2015
Published four issues per year
DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-01

Founder

Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICG SB RAS), Novosibirsk, Russia

Editor-in-Chief

A.V. Kochetov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Deputy Editors-in-Chief

N.P. Goncharov – Full Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

E.A. Salina – Professor, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Executive Secretary

O.Yu. Shoeva – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Editorial board

O.S. Afanassenko – Full Member of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Biology) (All-Russia Research Institute for Plant Protection, St. Petersburg, Russia)

O.V. Vaulin – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

M.A. Vishnyakova – Professor, Dr. Sci. (Biology) (N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia)

T.A. Gavrilenko – Professor, Dr. Sci. (Biology) (N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia)

I.M. Gorobei – Dr. Sci. (Biology) (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia)

Yu.E. Herbeck – Cand. Sci. (Biology) (The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot, Israel)

E.I. Gulyaeva – Dr. Sci. (Biology) (All-Russia Research Institute for Plant Protection, Saint Petersburg, Pushkin, Russia)

N.I. Dubovets – Corr. Member of the NAS of Belarus, Associate Professor, Dr. Sci. (Biology) (Institute of Genetics and Cytology, NASB, Minsk, Belarus)

I.K. Zakharov – Professor, Dr. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

K.V. Krutovsky – Professor, Cand. Sci. (Biology) (Georg-August University of Göttingen, Göttingen, Germany)

A.M. Kudryavtsev – Corr. Member of the RAS, Dr. Sci. (Biology) (Vavilov Institute of General Genetics, RAS, Moscow, Russia)

S.A. Lashin – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

A.Y. Letyagin – Professor, Dr. Sci. (Medicine) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

P.N. Malchikov – Dr. Sci. (Agricul.) (Tulaikov Research Institute of Agriculture, Russian Agricultural Academy, Bezenchuk, Samara oblast, Russia)

E.A. Orlova – Cand. Sci. (Agricul.) (Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

A.S. Pilipenko – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

Yu.I. Ragino – Corr. Member of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Medicine) (Research Institute of Internal and Preventive Medicine – Branch of the ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

I.D. Rashal – Full Member of the LAS, Professor, Dr. Sci. (Biology) (University of Latvia, Salaspils, Latvia)

R.R. Sadoyan – Professor, Dr. Sci. (Biology) (Kh. Abovyan Armenian State Pedagogical University, Yerevan, Armenia)

A.A. Soloviev – Professor of the RAS, Professor, Dr. Sci. (Biology) (All-Russian Plant Quarantine Center, Moscow, Russia)

N.A. Surin – Corr. Member of the RAS, Dr. Sci. (Agricul.), Professor (Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture – Division of Federal Research Center "Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS", Krasnoyarsk, Russia)

V.A. Trifonov – Professor, Dr. Sci. (Biology) (Institute of Molecular and Cellular Biology, SB RAS, Novosibirsk, Russia)

V.S. Fishman – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

S.V. Shekhovtsov – Cand. Sci. (Biology) (ICG SB RAS, Novosibirsk, Russia)

СОДЕРЖАНИЕ • 2023 • 9 • 1

- Генетика животных**
- 5 **Обзор**
Молекулярные маркеры адаптации
к холодному климату у крупного рогатого скота
Н.С. Юдин, А.В. Игошин, Д.М. Ларкин
- Селекция растений**
- 15 **Оригинальное исследование**
Вирулентность популяции возбудителя
покрытой головни овса *Ustilago kolleri*
в Новосибирской области
Н.П. Бехтольд, Е.А. Орлова, Ю.Н. Григорьев
- 21 **Оригинальное исследование**
Изучение устойчивости к некоторым
заболеваниям сортов и линий яровой
пшеницы питомника КАСИБ-22
Е.В. Агеева, Т.Н. Капко, В.В. Советов
- Новые российские сорта, включенные в Госреестр**
- 30 **Краткое сообщение**
Новый сорт яровой мягкой пшеницы Баганочка
Б.Ф. Немцев, А.Б. Немцев, Р.И. Полюдина, С.В. Куркова
- Письма в редакцию**
- 35 **Обзор**
Рецензия на монографию О.А. Ляпуновой
«Внутривидовое разнообразие твердой пшеницы
(*Triticum durum* Desf.)»
И.Г. Лоскутов

CONTENTS • 2023 • 9 • 1

- Animal genetics**
- 5 **Review**
Molecular markers of adaptation
to the cold climate in cattle
N.S. Yudin, A.V. Igoshin, D.M. Larkin
- Plant breeding**
- 15 **Original article**
Virulence of the pathogen of covered
smut of oats *Ustilago kollerii*
in the Novosibirsk region
N.P. Behtold, E.A. Orlova, Yu.N. Grigoriev
- 21 **Original article**
Study of varieties and lines of wheat in the KASIB-22
nursery for resistance to certain diseases
E.V. Ageeva, T.N. Kapko, V.V. Sovetov
- New Russian commercial cultivars**
- 30 **Short message**
New cultivar of spring common wheat Baganochka
B.F. Nemtsev, A.B. Nemtsev, R.I. Poluydina, S.V. Kurkova
- Letters to the Editor**
- 35 **Review**
Review of Olga A. Lyapunova's monograph
"Intraspecific diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.)"
I.G. Loskutov

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-02

Обзор

Молекулярные маркеры адаптации к холодному климату у крупного рогатого скота

Н.С. Юдин¹ , А.В. Игошин¹, Д.М. Ларкин²  

Аннотация: Животноводство – важный продовольственный ресурс для жителей территорий с холодным климатом, таких как Северная Евразия и высокогорные регионы, где возможности сельскохозяйственной деятельности крайне ограничены. В России площадь суши Арктической зоны составляет более 4.7 млн квадратных километров. Холодовой стресс является критической проблемой в отечественном животноводстве из-за воздействия на потребление корма (повышается), надои (понижаются), скорость роста (понижается) и репродуктивную функцию (снижается) крупного рогатого скота. Информация о молекулярных маркерах ДНК может быть использована для маркер-ориентированной и геномной селекции скота на устойчивость к холоду. Цель исследования включала выявление на основании доступной литературы молекулярных маркеров в потенциальных генах-кандидатах, ассоциированных с адаптацией к холоду, у различных пород крупного рогатого скота для дальнейших исследований, а также использования при маркер-ориентированной и геномной селекции. В результате изучения литературы по анализу ассоциаций отдельных однонуклеотидных полиморфизмов (SNP), полногеномному анализу ассоциаций, полногеномному секвенированию животных с экстремальными фенотипами, поиску следов отбора в геноме нами описаны 25 SNP (из них 8 приводили к несинонимичным аминокислотным заменам) в 18 генах-кандидатах (*HSP70*, *GRIA4*, *DDX23*, *MAATS1*, *COX17*, *THBS1*, *CCL5*, *UPK1B*, *PLA1A*, *NR112*, *ATF1*, *PRKAG1*, *IFNGR1*, *PPT1*, *NRAP*, *CD36*, *FGF5*, *PRDM16*), достоверно ассоциированных с устойчивостью к холоду у шести пород крупного рогатого скота (саньхэ, голштинской, герфордской, казахской белоголовой, якутской, янбиан). Включение информации о молекулярных маркерах крупного рогатого скота в селекционные программы будет способствовать созданию новых устойчивых к холоду пород и повышению эффективности традиционных методов селекции.

Ключевые слова: крупный рогатый скот; местная порода; холодный климат; адаптация; геном; молекулярный маркер; ассоциация; полногеномный анализ ассоциаций; признаки отбора; сравнительная геномика.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке бюджетного проекта № FWNR-2022-0039.

Для цитирования: Юдин Н.С., Игошин А.В., Ларкин Д.М. Молекулярные маркеры адаптации к холодному климату у крупного рогатого скота. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(1):5-14. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-02

Review


Molecular markers of adaptation to the cold climate in cattle

N.S. Yudin¹ , A.V. Igoshin¹, D.M. Larkin ² 

Abstract: Animal husbandry is an important food resource for residents of territories with cold climates, such as Northern Eurasia and high-altitude regions, where agricultural opportunities are extremely limited. In Russia, the land area of the Arctic zone is more than 4.7 million square kilometers, which is home to about 2.5 million people. Cold stress is a critical problem in domestic livestock production, due to its harmful effects on feed consumption, milk production, growth rate and reproductive function of cattle. Information on molecular DNA markers can be used to conduct marker-assisted and genomic selection of livestock for cold tolerance. The aim of the study was to identify, based on the available literature, molecular markers in potential candidate genes associated with cold adaptation in various breeds of cattle for further research, as well as for use in marker-assisted and genomic selection. As a result of studying literature on the analysis of the association of individual SNPs, genome-wide association analysis, whole genome sequencing of animals with extreme phenotypes, searching for signatures of selection in the genome, we described 25 SNPs (of which eight led to non-synonymous amino acid substitutions) in 18 candidate genes (*HSP70*, *GRIA4*, *DDX23*, *MAATS1*, *COX17*, *THBS1*, *CCL5*, *UPK1B*, *PLA1A*, *NR112*, *ATF1*, *PRKAG1*, *IFNGR1*, *PPT1*, *NRAP*, *CD36*, *FGF5*, *PRDM16*) significantly associated with cold tolerance in six cattle breeds (Sanhe, Holstein, Hereford, Kazakh Whiteheaded, Yakut, Yanbian). The inclusion of information on molecular markers of cattle in breeding programs will contribute to the creation of new cold-tolerant cattle breeds and increase the efficiency of traditional breeding methods.

¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

² Королевский ветеринарный колледж, Университет Лондона, Лондон, Великобритания
Royal Veterinary College, University of London, London, United Kingdom

 dmlarkin@gmail.com

© Юдин Н.С., Игошин А.В., Ларкин Д.М., 2023

Key words: cattle; local breed; cold climate, adaptation; genome; molecular marker; association; genome-wide association study; signatures of selection; genomic selection; comparative genomic.

For citation: Yudin N.S., Igoshin A.V., Larkin D.M. Molecular markers of adaptation to the cold climate in cattle. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(1):5-14. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-02 (in Russian)

Введение

Животноводство – важный продовольственный ресурс для жителей территорий с холодным климатом, таких как Северная Евразия и высокогорные регионы, где возможности сельскохозяйственной деятельности крайне ограничены. В России площадь суши Арктической зоны составляет более 4.7 млн квадратных километров, на которой, по данным за 2013 г., проживало около 2.5 млн человек (Лукин, 2013). Из-за нехватки финансовых и материальных ресурсов животных на протяжении всей жизни выращивают на открытом воздухе или содержат в неотапливаемых коровниках. Холодовой стресс в сочетании с ветром, снегом и дождем выступает основным фактором, негативно влияющим на рост и производительность у всех пород крупного рогатого скота (КРС). В условиях интенсивного холодового стресса в организме увеличивается скорость метаболизма, сократительного термогенеза в мышцах и несократительного термогенеза в бурой жировой ткани, что в конечном счете приводит к росту потребности животных в питательных веществах и энергии (Tansey, Johnson, 2015). Предполагаемый диапазон нейтральных температур для молочного скота составляет от +5 до +25 °C (Manalu et al., 1991). Холодовой стресс может привести к снижению удоев у лактирующих коров (Broucek et al., 1991). При умеренном холодовом стрессе надоев животных со средним показателем 21.6 кг снижались примерно на 2 кг, при этом отмечена корреляция надоев с ветрохолодовым индексом (Angrecka, Herbut, 2015). По мнению S.M. Azzam и коллег (1993), холодовой стресс является важной причиной смертности телят в США.

При традиционных методах разведения отбор наилучших по экономически важным признакам животных (например, устойчивости к холоду или жаре) основан на наблюдаемых фенотипах и информации о родословной животных (Nariyono, Prihandini, 2022). Однако благодаря развитию молекулярной генетики разработано несколько подходов, позволяющих исследователям повысить точность оценок племенной ценности и ускорить процесс селекции, выбирая молодых животных на основе их генотипа, не дожидаясь измерения их физических показателей (фенотипа) в более позднем возрасте. Например, к таким подходам можно отнести маркер-ориентированную и геномную селекцию, при которых для отбора используют молекулярные маркеры – нуклеотидные замены в последовательности ДНК, связанные с хозяйственно важными признаками. Благодаря ряду преимуществ однонуклеотидные полиморфизмы ДНК (SNP) являются наиболее популярными молекулярными маркерами для маркер-ориентированной селекции в животноводстве. Так, SNP в избытке встречаются во всем геноме организма – как в кодирующих, так и не кодирующих районах ДНК. SNP в кодирующих районах гена, которые вызывают замену аминокислоты в последовательности белка, несинони-

мичны; те, которые этого не делают, синонимичны. Кроме того, SNP наследуются более стабильно, чем другие маркеры ДНК, что делает их более подходящими для длительного отбора (Beuzen et al., 2000).

Цель исследования – выявление на основании доступной литературы молекулярных маркеров в потенциальных генах-кандидатах, ассоциированных с адаптацией к холоду, у различных пород КРС для дальнейших экспериментов и маркер-ориентированной и геномной селекции. Ранее мы уже обобщили сведения о генах-кандидатах адаптации к экстремальным факторам среды, включая устойчивость к холоду, в геномах исконно российских и тураномонгольских пород КРС (Юдин, Ларкин, 2019; Юдин и др., 2021).

Поиск и отбор литературы выполнены в соответствии с общепринятыми критериями, предъявляемыми к систематическим обзорам (Page et al., 2021). Мы провели систематический поиск публикаций, представленных в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar до 1 января 2023 г., с использованием следующих поисковых запросов: Cattle AND Cold AND SNP, Cattle AND Cold AND Association, Cattle AND Cold AND Genome-wide association study. Критерием для включения публикаций в обзор служила идентификация хотя бы одного SNP, достоверно ассоциированного с признаком, связанным с устойчивостью к холоду у крупного рогатого скота.

В результате проведенного поиска литературы для детального анализа отобрано семь публикаций. Из них две посвящены исследованию отдельных ДНК-маркеров, а остальные пять содержат данные полногеномного генотипирования или секвенирования.

Исследование отдельных ДНК-маркеров

Q. Xu с коллегами (2017) двумя методами (гибридизация на ДНК-чипах и ПЦР в реальном времени) показали, что экспрессия мРНК HSP70 в клетках периферической крови достоверно возрастала при сильном холодовом стрессе (3 ч при –32 °C) у животных молочно-мясной породы саньхэ (Sanhe). Эта местная порода выведена в автономном районе Внутренняя Монголия (КНР) путем скрещивания местного монгольского скота с симментальским и шортгорнским (Cheng, 1984). Порода саньхэ хорошо известна высокой устойчивостью к суровым условиям, особенно к чрезвычайно низким температурам (ниже –30 °C), а также повышенной устойчивостью к болезням и эффективностью производства молока и мяса в суровых зимних условиях и системах выпаса. Регулирование температуры в условиях холодового стресса представляет собой сложный физиологический процесс, при котором активируются вегетативная нервная и нейроэндокринная системы, в результате меняются биохимические показатели крови (Tansey, Johnson, 2015). Так, у животных поро-

ды санхэ при аналогичном воздействии холода (3 ч при $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$) в крови достоверно повышались концентрации трийодтиронина, тироксина и адренкортикотропного гормона (Li W. et al., 2015). Авторы считают, что эти показатели могут быть использованы в качестве потенциальных индикаторов индивидуальной реакции на холодостресс у крупного рогатого скота.

Среди 20 SNP, идентифицированных в гене белка теплового шока *HSP70* у животных породы санхэ, SNP -42^- , расположенный в промоторной области гена, и SNP -105^+ , -181^+ и -205^+ , локализованные в 5'-нетранслируемой области, ассоциированы с повышением уровня трийодтиронина, а SNP -105^+ был также связан с увеличением уровня тироксина при холодострессе (таблица) (Hu et al., 2019). В экспериментах по влиянию SNP -42^- и -205^+ на экспрессию репортерного гена зеленого флуоресцентного белка (GFP) при трансфекции в клетки 293T эти же авторы показали, что оба SNP являются причинными мутациями, участвующими в регуляции промоторной активности гена *HSP70*.

Исследовательская группа во главе с Z. Abbas (2020) изучила ассоциацию 12 SNP в 5'-фланкирующей области гена *HSP70* с изменением биохимических параметров крови под действием умеренного холодостресса у коров голштинской породы в Китае. Установлено, что концентрации кортизола, кортизона и ионов калия в крови повышаются, а концентрации адренкортикотропного гормона, дофамина, гормона роста, лактатдегидрогеназы, норадреналина, пролактина и супероксиддисмутазы снижаются у коров в январе (среднемесячная температура $-6.70\text{ }^{\circ}\text{C}$, средний индекс температуры и влажности (ТН) 25.63) по сравнению с условиями термонейтральной зоны в ноябре (среднемесячная температура $12.76\text{ }^{\circ}\text{C}$, средний индекс температуры и влажности 55.43). По мнению авторов, эти показатели могут быть потенциальными биомаркерами устойчивости к холоду. При этом концентрация дофамина при стрессе у животных с генотипом AA по SNP A-12G была достоверно выше, чем у животных с генотипами AG и GG (см. таблицу). Сходным образом активность супероксиддисмутазы при стрессе у животных с генотипом GG по SNP C131G была достоверно выше, чем у животных с генотипами CC и CG.

Полногеномные исследования

Герефордская и казахская белоголовая породы. Исследование генов и ДНК-маркеров, вовлеченных в поддержание температуры тела КРС в условиях холодного климата проведено нами на популяции сибирских герефордов (Igoshin et al., 2019), которая создана в 1970–1980-х гг. в Сибири учеными СибНИПТИЖ СО РАСХН (Гамарник и др., 2012). Кроме того, в выборку почти из 200 животных были включены и особи казахской белоголовой породы, созданной путем поглощения герефордами казахского и калмыцкого скота и, по нашим данным, генетически близкой к герефордской породе (Yurchenko et al., 2018). Индивидуальную устойчивость животного к холоду оценивали по модифицированной методике J.T. Howard и коллег (2014). Эксперимент начинали за несколько дней до наступления экстремально холодной погоды по данным метеорологического прогноза. В ушном канале животного закрепляли датчик температуры,

который передавал данные о тимпанальной температуре каждые 15 мин на персональный компьютер примерно в течение двух недель. В качестве фенотипа для полногеномного анализа ассоциаций использовали площадь под кривой температуры в течение пяти наиболее холодных (до $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$) дней за двухнедельный период наблюдений. Полногеномное генотипирование ДНК проводили на микрочипе GeneSeek Genomic Profiler High-Density bovine microarray (GGP HD150K), содержащем более 139 тыс. генетических маркеров.

В результате полногеномного анализа ассоциаций на уровне отдельных SNP и гаплотипов, а также поиска следов отбора в геноме в совокупности выявлен единственный SNP rs137014986, локализованный между генами *GRIA4* и *MSANTD4* на хромосоме 15 (см. таблицу). Ген *MSANTD4* является членом семейства генов, содержащих ДНК-связывающий домен Myb/SANT и кодирующих преимущественно транскрипционные факторы (Baker et al., 2009). Существуют данные, согласно которым *MSANTD4* служит репрессором белка теплового шока HSPB1 (Newton, Wernisch 2015), который в свою очередь повышает уровень экспрессии в ответ на холодостресс у коз (Mohanarao et al., 2014). Другой ген ионотропного рецептора глутамата AMPA-типа субъединица 4 (*GRIA4*) кодирует одну из субъединиц AMPA-рецептора, передающего быстрые возбуждающие сигналы в синапсах нервной системы позвоночных (Platt, 2007). Известно, что AMPA-рецепторы экспрессируются в гипоталамусе (van den Pol et al., 1994) – структуре мозга, контролирующей терморегуляцию у млекопитающих (Morrison, Nakamura, 2019). Показано, что активация AMPA-рецепторов в медиальной преоптической области гипоталамуса приводит к повышению температуры тела у крыс (Sengupta et al., 2016), что делает ген *GRIA4* наиболее вероятным кандидатом, отвечающим за фенотип устойчивости к холоду. Интересно, что ген *GRIA4* также выявлен в качестве гена-кандидата устойчивости к тепловому стрессу у голштинской породы КРС в Австралии (Cheruiyot et al., 2021). По данным P.H. Freitas и коллег (2021), ген из того же семейства (*GRIA1*) находился под давлением отбора у яка (*Bos grunniens*).

Далее исходя из результатов эксперимента по адаптации к холоду нами отобраны 12 животных герефордской и казахской белоголовой пород: 6 наиболее адаптированных и 6 наименее адаптированных к холоду по результатам описанного выше теста (Igoshin et al., 2021). Образцы ДНК секвенированы с использованием технологии Illumina примерно до 50 млрд п.н. каждый. Для поиска функциональных вариантов, способствующих адаптации к холоду, мы использовали набор SNP известного функционального типа (например, экспрессионные QTL, QTL, контролирующие альтернативный сплайсинг, консервативные сайты и т. д.), которые ранее были оценены на основе их способности объяснять вариативность в 34 сложных признаках КРС (Xiang et al., 2019). Показатель наследуемости функционально-эволюционных признаков (FAETH) помог выявить наиболее важные генетические варианты, поскольку на адаптацию к холоду влияют многочисленные физиологические и морфологические особенности организма. Мы провели поиск таких SNP в

Молекулярные маркеры устойчивости к холоду у крупного рогатого скота

Molecular markers of resistance to the cold in cattle

Ген	Молекулярный маркер	Локализация	Порода	Дизайн эксперимента	Ассоциированный признак	Литературный источник
<i>HSP70</i>	-42 ⁻ (C/T)	Промотор	Саньхэ (Китай)	Кратковременный стресс (3 ч при -32 °C), биохимический анализ крови, секвенирование 5'-фланкирующей области гена у 105 животных	Трийодтиронин в крови	Hu et al., 2019
	-105 ⁺ (G/T)	5'-нетранслируемая область	Саньхэ (Китай)	- // -	Трийодтиронин и тироксин в крови	Hu et al., 2019
	-181 ⁺ (C/T)	5'-нетранслируемая область	Саньхэ (Китай)	- // -	Трийодтиронин в крови	Hu et al., 2019
	-205 ⁺ (C/T)	- // -	- // -	- // -	- // -	- // -
	A-12G	5'-фланкирующая область	Голштинская (Китай)	Сравнение показателей в августе, ноябре (термонейтральная зона) и январе, секвенирование 5'- фланкирующей области гена у 196 животных	Дофамин в крови	Abbas et al., 2020
	C131G	5'-фланкирующая область	Голштинская (Китай)	- // -	Супероксид-дисмутаза в крови	Abbas et al., 2020
<i>GRIA4</i>	Bovine-HD1500000472 (rs137014986)*	3'-фланкирующая область	Герефордская (Сибирь), казахская белоголовая	Измерение тимпанальной температуры в течение пяти наиболее холодных (до -32 °C) дней, генотипирование на биочипе GGP HD150K, полногеномный анализ ассоциаций на 183 животных	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2019
	Chr15:2,312,905 (rs207668622) (C/A)	Инtron	Герефордская (Сибирь), казахская белоголовая	Измерение тимпанальной температуры в течение пяти наиболее холодных (до -32 °C) дней, полногеномное секвенирование двух групп по 6 животных с контрастными фенотипами	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>DDX23</i>	Chr5:31,112,894 (rs108955444) (C/T)	Экзон (синонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>MAATS1</i>	Chr1:65,062,344 (rs43234266) (T/C)	Экзон (синонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>COX17</i>	Chr1:65,031,883 (rs208045948) (C/T)	Экзон (несинонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>THBS1</i>	Chr10:35,315,375 (rs43707861) (A/G)	Экзон (несинонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
	Chr10:35,320,988 (rs17870352) (A/G)	Экзон (несинонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021

Окончание таблицы

<i>CCL5</i>	Chr19:14,825,116 (rs208398974) (C/T)	Экзон (синонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>UPK1B</i>	Chr1:64,592,185 (rs43652277) (A/G)	Экзон (неси- нонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>PLA1A</i>	Chr1:64,966,636 (rs43233262) (C/A)	Интрон	- // -	- // -	Площадь под кри- вой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>NR1I2</i>	Chr1:65,236,459 (rs43235975) (T/C)	Экзон (синонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>ATF1</i>	Chr5:29,271,337 (rs210280224) (A/G)	3'- фланкирую- щая область	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>PRKAG1</i>	Chr5:30,981,551 (rs29002398) (T/C)	3'-UTR	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>IFNGR1</i>	Chr9:76,093,074 (rs41569368) (T/G)	Экзон (синонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>PPT1</i>	Chr3:106,629,521 (rs42791314) (T/C)	Экзон (неси- нонимичная замена)	- // -	- // -	Площадь под кривой температуры тела	Igoshin et al., 2021
<i>NRAP</i>	Chr26:34,131,393 (G>T) (p.His100Glu)	Экзон (неси- нонимичная замена)	Якутская	Полногеномное секве- нирование 20 особей якутской и 20 особей холмогорской пород, объединение результатов с данными из проекта «1000 геномов быков», поиск следов отбора, методы сравнительной геномики	Врожденная устойчивость к холоду	Buggiotti et al., 2021
<i>CD36</i>	c.638 A>G, p.Lys 213Arg	Экзон (неси- нонимичная замена)	Янбиан	Полногеномное секвенирование 9 животных породы янбиан, поиск следов отбора и сравнение с данными секвенирования африканской породы ндама	Врожденная устойчивость к холоду	Shen et al., 2020
<i>FGF5</i>	c.191 C>T, p.Ser64Phe	Экзон (неси- нонимичная замена)	Янбиан	- // -	Врожденная устойчивость к холоду	Shen et al., 2020
<i>PRDM16</i>	c.2336 T>C, p.Leu779Pro	Экзон (неси- нонимичная замена)	Местные животные из Китая	Полногеномное секве- нирование 28 животных их холодных и теплых районов, поиск следов отбора, трансфекция культуры клеток, ПЦР в реальном времени, Вестерн-блот	Врожденная устойчивость к холоду	Yan et al., 2022

Примечание. Символ - // - указывает на то, что содержание ячеек идентично вышестоящей.

* Данный SNP также находится вблизи гена *MSANTD4*.

геномах сибирских герефордов и изучили различия в частоте их аллелей между двумя группами животных, имевших контрастные фенотипы поддержания температуры тела на морозе, которые выявлены в предыдущем эксперименте (Igozhin et al., 2019).

Процедура ранжирования SNP привела к идентификации 17 391 варианта с наивысшей суммой рангов, из которых 635 были синонимичными, 258 – несинонимичными, а 91 – локализован в районах регуляции сплайсинга. В результате анализа поисковой системой Google и поиска в базе данных PubMed информации о высокоранговых генах-кандидатах (поиск по названию гена и ключевым запросам *body temperature, cold temperature, cold adaptation, thermoregulation, thermogenesis, hair follicle* в сочетании с названием вида *cattle, sheep, goats, pigs, horses*) выявлено 30 генов, содержащих хотя бы один кандидатный SNP. Из них для 13 генов представлены данные об их вкладе в температурную адаптацию у домашних и диких видов крупного рогатого скота (см. таблицу).

Среди SNP с наиболее высоким рейтингом мы идентифицировали SNP rs207668622 в четвертом интроне гена *GRIA4*. Этот ген определен в качестве основного кандидата в нашем предыдущем исследовании на более многочисленной выборке сибирских герефордов с использованием полногеномного генотипирования (Igozhin et al., 2019). Самый высокий рейтинг в нашем исследовании имел синонимичный вариант в гене *DDX23*. Экспрессия гена *DDX23* в мононуклеарных клетках периферической крови у адаптированной к тропикам породы КРС сахивал (*Sahiwal*) была значительно выше, чем у адаптированной к высокогорью породы ладакхи (*Ladakhi*) (Verma et al., 2018). Кроме того, ген *DDX23* является геном адаптации к холоду у обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio* L.), поскольку его экспрессия индуцируется при холодовом стрессе (Long et al., 2020). Гены *MAATS1, COX17, UPK1B* и *NR1I2* находились под давлением отбора при адаптации к тропическому климату у предков современного креольского скота, завезенных в Америку с Пиренейского полуострова (Pitt et al., 2018). Кроме того, в геноме антарктической рыбы – шиповатой белокровки (*Chionodraco hamatus*) – обнаружено от трех до восьми копий гена *COX17*, вовлеченного в функционирование митохондрий (Corpe et al., 2013). Другой ген-кандидат – *THBS1*, в котором нами выявлено два высокоранговых несинонимичных SNP. Показано, что этот ген участвует в адаптации КРС как к холодному (Pokharel et al., 2019), так и жаркому (Bhardwaj et al., 2021) климату, а также участвует в адаптации к холоду у свиней (Lin et al., 2017). Экспрессия гена *THBS1* в печени яков Тибетского нагорья падает в холодное время года (Zheng et al., 2022). Конвергентные замены аминокислот в этом гене у ряда морских млекопитающих, вероятно, связаны с его вкладом в формирование «чудесной сети» кровеносных сосудов (*retia mirabilia*), которая эффективно ограничивает потерю тепла в водную среду за счет взаимного теплообмена венозной и артериальной крови (Yuan et al., 2021). Экспрессия белка THBS1 повышалась при холодовом стрессе в культуре клеток миоцитов мыши, по-видимому, в связи с его участием в васкуляризации скелетных мышц (Lemieux et al., 2022).

Экспрессия гена хемокина *CCL5* в крови якутского скота была выше по сравнению с его экспрессией у животных голштинской и северной финской пород (Pokharel et al., 2019). Этот же хемокин вызывал лихорадку при введении в гипоталамус крысам (Tavares, Miñano, 2000). P.H. Freitas и коллеги (2021) идентифицировали *NR1I2* в качестве гена-кандидата температурной толерантности при анализе данных полногеномного генотипирования восьми местных китайских пород КРС и датунских яков. Экспрессия гена *ATF1* достоверно повышалась при тепловом стрессе (12 ч при +37 °C) в крови бычков-голштинов (Srikanth et al., 2017). Белок ATF1, взаимодействуя с энхансером гена митохондриального белка *UCP1*, может регулировать несократительный термогенез в бурой жировой ткани у млекопитающих (Rim, Kozak, 2002). Экспрессия гена *PRKAG1* увеличивалась в эпителии рубца голштинских коров при тепловом стрессе (4 дня при +28 °C) (Eslamizad et al., 2020). Экспрессия гена рецептора интерферона *IFNGR1* у КРС голштинской породы превосходила его экспрессию в крови КРС якутской и северной финской пород (Pokharel et al., 2019). После теплового шока (3 ч при +44 °C) экспрессия гена *PPT1* достоверно повышалась в культуре кожных фибробластов от КРС породы тхарпаркар (*Tharparkar*) (Singh et al., 2020). Мыши с нокаутом по гену *PPT1* неспособны поддерживать температуру тела при воздействии холода, вероятно, из-за нарушения липолиза в бурой жировой ткани (Khaibullina et al., 2012).

Якутская и холмогорская породы. Существует несколько северных пород КРС, которые представляют особый интерес для исследования генетических механизмов адаптации к холоду. Например, якутская и холмогорская породы, которые выведены в условиях сурового климата России и хорошо адаптированы к нему. Холмогорский скот сформировался в европейской части России около 300 лет назад из местных тауриновых пород, которые в XVIII веке были скрещены с завезенным голландским скотом (Feliuss et al., 2014). Якутский скот, вероятно, сформировался в районе озера Байкал в Сибири и мигрировал вместе с предками якутов в регион современной Якутии около 800 лет назад (Crate, 2006). В настоящее время эти породы являются самыми северными породами КРС в мире, которые разводят на расстоянии до 200 км за полярным кругом, где они подвергаются воздействию долгих зим и низких температур, которые могут опускаться до –70 °C.

Нами проведено полногеномное секвенирование 20 особей якутской и 20 особей холмогорской пород методом коротких прочтений Illumina (Buggiotti et al., 2021). Далее осуществлено выравнивание всех полученных геномов против референсного генома КРС, определение нуклеотидных замен, объединение данных с данными по секвенированию близких пород из проекта «1000 геномов быков», выявление следов отбора у якутской и холмогорской пород на нуклеотидном уровне.

Поиск признаков отбора показал несколько общих генных путей, связанных с адаптацией к суровому климату у обеих пород, но затронутые отбором гены этих путей были разными. Однако у всех особей якутского скота выявлена мутация His100Glu в высоко консервативном гене *NRAP*, которая отсутствовала у других пород КРС (см. таблицу). Так,

мутация His100Glu у якутской породы представляет собой уникальный пример недавнего конвергентного изменения аминокислотного остатка, также встречающегося по крайней мере у 16 видов зимующих или адаптированных к холоду млекопитающих (летучие мыши, мышинный лемур, капский златокрот, тупайя, морж, морской лев, тюлени и т. д.) из шести различных филогенетических отрядов. Это свидетельствует о конвергентном эволюционном событии вдоль филогенетического дерева млекопитающих и быстром распространении этой мутации в одной изолированной популяции КРС, подверженной суровому климату. Тем самым ген *NRAP* становится одним из основных кандидатов, которые влияют на адаптацию якутского скота к экстремально холодным условиям обитания.

По результатам исследований на человеке и мышах определен вероятный механизм вклада *NRAP* в адаптацию к холодному климату. У мышей экспрессия *NRAP* снижается при дилатационной кардиомиопатии (Ehler et al., 2001). Среди пациентов с дилатационной кардиомиопатией чаще встречаются гомозиготы по мутациям в гене *NRAP* (Truszkowska et al., 2017). При дилатационной кардиомиопатии насосная способность левого желудочка сердца увеличивается, что вызывает проблемы откачки крови из сердца (Schultheiss et al., 2019). По-видимому, мутация *NRAP* у якутского скота может привести к более эффективной перекачке крови в зимний период, тем самым способствуя экономии энергии, как у видов, которые либо снижают скорость обмена веществ в зимний период, либо впадают в оцепенение или спячку.

Местные китайские породы. Порода КРС янбиан (Yanbian) является тауриновой, разводится в северо-восточном Китае и в отличие от большинства китайских местных пород не имеет общих предков с индицинным скотом (Xin et al., 2014). Местообитание породы янбиан характеризуется длинной (до полугода) морозной (температура опускается до -37°C) зимой и коротким летом. Холодовая устойчивость породы янбиан исследована с помощью полногеномного секвенирования девяти особей этой породы и сравнения с африканским тропическим скотом ндама (*N'Dama*) в качестве контрольной группы. Сравнительный анализ показал наличие у животных обеих пород следов отбора в районе SNP в гене *CD36* (см. таблицу) (Shen et al., 2020). Известно, что белок *CD36* играет важную роль в мембранном транспорте длинноцепочечных жирных кислот в сердце, скелетных мышцах и жировой ткани (Glatz et al., 2010). Экспрессия *CD36* увеличивается при воздействии холода, что усиливает поглощение бурой жировой тканью богатого триглицеридами липопротеина и альбумина, связанного с жирными кислотами (Bartelt et al., 2011). У голодающих мышей, нокаутных по гену *CD36*, вскоре после воздействия холода температура тела резко снижалась, причем эта гипотермия сопровождалась заметным снижением как уровня глюкозы в крови, так и запасов триацилглицеринов в бурой жировой ткани и гликогена в скелетной мускулатуре (Putri et al., 2015). Известно, что у корейского скота экспрессия гена *CD36* положительно коррелирует с содержанием внутримышечного жира (мраморностью) (Jeong et al., 2012). Кроме того, экспрессия *CD36* положительно коррелирует с ожирением у молочных коров (Prodanović et al., 2016). По-видимому, именно обширные за-

пасы жира способствуют резистентности к холоду у животных янбиан. Порода янбиан характеризуется длинным и густым волосным покровом, который помогает ей адаптироваться к зимним температурам. Достоверный сигнал отбора выявлен у этой породы в районе SNP в гене *FGF5*, который регулирует рост волосного фолликула и длину волоса у многих видов млекопитающих (Li G. et al., 2019).

Полногеномное секвенирование 28 животных местных пород из холодных (среднегодовая температура $2-6^{\circ}\text{C}$) и теплых (среднегодовая температура $20-25^{\circ}\text{C}$) районов Китая позволило выявить несинонимичный SNP в гене *PRDM16* (с.2336 T>C, р.L779P) с наивысшим значением *FST* среди генов, связанных с термогенезом (Yan et al., 2022). При трансфекции мутантного варианта этого полиморфизма в клеточную линию преадипоцитов отмечено подавление экспрессии ряда генов адипогенеза, что свидетельствует о его функциональном значении. Ранее показано, что белок *PRDM16* повышает несократительный термогенез, стимулируя превращение белой жировой ткани в бурую (Seale et al., 2007).

Заключение

В результате анализа литературы нами найдены 25 SNP в 18 генах-кандидатах, достоверно ассоциированных с устойчивостью к холоду у шести пород КРС молочного, мясного и мясо-молочного направления селекции. Эти молекулярные маркеры могут быть использованы при разработке планов селекционно-племенной работы для отбора КРС, лучше адаптированного к экстремальным климатическим условиям России и других стран. Поскольку холодовой стресс является критической проблемой в отечественном животноводстве, главным образом из-за вредного воздействия на потребление корма, надой, скорость роста и репродуктивную эффективность, информация об этих молекулярных маркерах может быть использована для маркер-ориентированной селекции. Другим перспективным подходом к ускорению генетического прироста при селекции на устойчивость к холоду служит геномная селекция, при которой молодые быки и телки могут быть отобраны на основе их геномной оценки племенной ценности (GEBV) по этому признаку, как и в случае устойчивости к жаре (Garner et al., 2016). Например, точность GEBV устойчивости к жаре с использованием референсных популяций голштинской и джерсийской пород КРС, генотипированных по 632 003 SNP, составляла для разных хозяйственно важных признаков 0.39–0.57 и 0.44–0.61 соответственно (Nguyen et al., 2016). Однако основная проблема при оценке GEBV заключается в ограниченном размере референсной популяции (Zhou et al., 2013). Другой подход, который становится все более популярным для повышения устойчивости скота к жаре, заключается в выявлении причинных мутаций, ответственных за генетическую изменчивость термотолерантности, и переносе конкретных аллелей, которые придают термотолерантность, в геномы пород, не адаптированных к жаркому климату, с помощью геномного редактирования. Примером мутации, дающей способность снижать температуру тела у КРС, служит мутация в гене рецептора пролактина (*PRLR*), приводящая к экспрессии усеченного варианта рецептора

и развитию у животных фенотипа с короткой гладкой шерстью. Недавно эта мутация перенесена путем редактирования генома животным абердин-ангусской породы¹. Таким образом, включение информации о молекулярных маркерах КРС в селекционные программы будет способствовать созданию новых устойчивых к холоду пород КРС и повышению эффективности традиционных методов селекции.

Список литературы / References

Гамарник Н.Г., Шевелёва О.М., Дуров А.С. Герефордский скот сибирской селекции. Новосибирск: ГНУ СибНИИЖ, 2012.

[Gamarnik N.G., Shevelova O.M., Durov A.S. Hereford Cattle of Siberian Selection. Novosibirsk: GNU SibNIIZh Publ., 2012. (in Russian)]

Лукин Ю.Ф. Российская Арктика в изменяющемся мире. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013.

[Lukin Yu.F. The Russian Arctic in a Changing World. Arkhangelsk: IPC SAFU Publ., 2013. (in Russian)]

Юдин Н.С., Ларкин Д.М. Происхождение, селекция и адаптация российских пород крупного рогатого скота по данным полногеномных исследований. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(5):559-568. DOI 10.18699/VJ19.525.

[Yudin N.S., Larkin D.M. Whole genome studies of origin, selection and adaptation of the Russian cattle breeds. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019; 23(5):559-568. DOI 10.18699/VJ19.525. (in Russian)]

Юдин Н.С., Юрченко А.А., Ларкин Д.М. Следы отбора и гены-кандидаты адаптации к экстремальным факторам среды в геномах турано-монгольских пород крупного рогатого скота. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(2):190-201. DOI 10.18699/VJ21.023.

[Yudin N.S., Yurchenko A.A., Larkin D.M. Signatures of selection and candidate genes for adaptation to extreme environmental factors in the genomes of Turano-Mongolian cattle breeds. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021; 25(2):190-201. DOI 10.18699/VJ21.023. (in Russian)]

Abbas Z., Hu L., Fang H., Sammad A., Kang L., Brito L.F., Xu Q., Wang Y. Association analysis of polymorphisms in the 5' flanking region of the *HSP70* gene with blood biochemical parameters of lactating Holstein cows under heat and cold stress. *Animals (Basel)*. 2020;10(11):2016. DOI 10.3390/ani10112016.

Angrecka S., Herbut P. Conditions for cold stress development in dairy cattle kept in free stall barn during severe frosts. *Czech J. Anim. Sci.* 2015;60(2):81-87. DOI 10.17221/7978-CJAS.

Azzam S.M., Kinder J.E., Nielsen M.K., Werth L.A., Gregory K.E., Cundiff L.V., Koch R.M. Environmental effects on neonatal mortality of beef calves. *J. Anim. Sci.* 1993;71(2):282-290. DOI 10.2527/1993.712282x.

Baker A.M., Fu Q., Hayward W., Lindsay S.M., Fletcher T.M. The Myb/SANT domain of the telomere-binding protein TRF2 alters chromatin structure. *Nucleic Acids Res.* 2009;37(15):5019-5031. DOI 10.1093/nar/gkp515.

Bartelt A., Bruns O.T., Reimer R., Hohenberg H., Ittrich H., Peldschus K., Kaul M.G., Tromsdorf U.I., Weller H., Waurisch C., Eychemüller A., Gordts P.L., Rinninger F., Bruegelmann K., Freund B., Nielsen P., Merkel M., Heeren J. Brown adipose tissue activity controls triglyceride clearance. *Nat. Med.* 2011;17(2):200-205. DOI 10.1038/nm.2297.

Beuzen N.D., Stear M.J., Chang K.C. Molecular markers and their use in animal breeding. *Vet. J.* 2000;160(1):42-52. DOI 10.1053/tvj.2000.0468.

Bhardwaj S., Singh S., Ganguly I., Bhatia A.K., Bharti V.K., Dixit S.P. Genome-wide diversity analysis for signatures of selection of *Bos indicus* adaptability under extreme agro-climatic conditions of temperate and tropical ecosystems. *Anim. Gene*. 2021;20:200115. DOI 10.1016/j.angen.2021.200115.

Broucek J., Letkovicová M., Kovalcuj K. Estimation of cold stress effect on dairy cows. *Int. J. Biometeorol.* 1991;35(1):29-32. DOI 10.1007/BF01040960.

¹ Bellini J. This Gene-Edited Calf Could Transform Brazil's Beef Industry. 2018. Доступно: <https://www.wsj.com/video/series/moving-upstream/this-gene-edited-calf-could-transform-brazil-beef-industry/D2D93B49-8251-405F-BC35-1E5C33FA08AF>

Buggiotti L., Yurchenko A.A., Yudin N.S., Vander Jagt C.J., Vorobieva N.V., Kusliy M.A., Vasiliev S.K., Rodionov A.N., Boronetskaya O.I., Zinovieva N.A., Graphodatsky A.S., Daetwyler H.D., Larkin D.M. Demographic history, adaptation, and NRAP convergent evolution at amino acid residue 100 in the world northernmost cattle from Siberia. *Mol. Biol. Evol.* 2021;38(8):3093-3110. DOI 10.1093/molbev/msab078.

Cheng P. Livestock Breeds of China: Animal Production and Health. Paper 46 (E, F, S). Rome: FAO, 1984.

Cheruiyot E.K., Haile-Mariam M., Cocks B.G., MacLeod I.M., Xiang R., Pryce J.E. New loci and neuronal pathways for resilience to heat stress in cattle. *Sci. Rep.* 2021;11(1):16619. DOI 10.1038/s41598-021-95816-8.

Coppe A., Agostini C., Marino I.A., Zane L., Bargelloni L., Bortoluzzi S., Patarnello T. Genome evolution in the cold: Antarctic icefish muscle transcriptome reveals selective duplications increasing mitochondrial function. *Genome Biol. Evol.* 2013;5(1):45-60. DOI 10.1093/gbe/evs108.

Crate S.A. Cows, Kin, and Globalization: An Ethnography of Sustainability. Lanham (MD): Alta Mira Press, 2006.

Ehler E., Horowitz R., Zuppinger C., Price R.L., Perriard E., Leu M., Caroni P., Sussman M., Eppenberger H.M., Perriard J.C. Alterations at the intercalated disk associated with the absence of muscle LIM protein. *J. Cell Biol.* 2001;153(4):763-772. DOI 10.1083/jcb.153.4.763.

Eslamizad M., Albrecht D., Kuhla B. The effect of chronic, mild heat stress on metabolic changes of nutrition and adaptations in rumen papillae of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2020;103(9):8601-8614. DOI 10.3168/jds.2020-18417.

Felius M., Beerling M.-L., Buchanan D.S., Theunissen B., Koolmees P.A., Lenstra J.A. On the history of cattle genetic resources. *Diversity*. 2014; 6(4):705-750. DOI 10.3390/d6040705.

Freitas P.H.F., Wang Y., Yan P., Oliveira H.R., Schenkel F.S., Zhang Y., Xu Q., Brito L.F. Genetic diversity and signatures of selection for thermal stress in cattle and other two *Bos* species adapted to divergent climatic conditions. *Front. Genet.* 2021;12:604823. DOI 10.3389/fgene.2021.604823.

Garner J.B., Douglas M.L., Williams S.R., Wales W.J., Marett L.C., Nguyen T.T., Reich C.M., Hayes B.J. Genomic selection improves heat tolerance in dairy cattle. *Sci. Rep.* 2016;6:34114. DOI 10.1038/srep34114.

Glatz J.F., Luiken J.J., Bonen A. Membrane fatty acid transporters as regulators of lipid metabolism: implications for metabolic disease. *Physiol. Rev.* 2010;90(1):367-417. DOI 10.1152/physrev.00003.2009.

Hariyono D.N.H., Prihandini P.W. Association of selected gene polymorphisms with thermotolerance traits in cattle – A review. *Anim. Biosci.* 2022;35(11):1635-1648. DOI 10.5713/ab.22.0055.

Howard J.T., Kachman S.D., Snelling W.M., Pollak E.J., Ciobanu D.C., Kuehn L.A., Spangler M.L. Beef cattle body temperature during climatic stress: a genome-wide association study. *Int. J. Biometeorol.* 2014;58(7):1665-1672. DOI 10.1007/s00484-013-0773-5.

Hu L., Ma Y., Liu L., Kang L., Brito L.F., Wang D., Wu H., Liu A., Wang Y., Xu Q. Detection of functional polymorphisms in the *hsp70* gene and association with cold stress response in Inner-Mongolia Sanhe cattle. *Cell Stress Chaperones*. 2019;24(2):409-418. DOI 10.1007/s12192-019-00973-5.

Igoshin A.V., Yurchenko A.A., Belonogova N.M., Petrovsky D.V., Aitnazarov R.B., Soloshenko V.A., Yudin N.S., Larkin D.M. Genome-wide association study and scan for signatures of selection point to candidate genes for body temperature maintenance under the cold stress in Siberian cattle populations. *BMC Genet.* 2019;20(Suppl. 1):26. DOI 10.1186/s12863-019-0725-0.

Igoshin A., Yudin N., Aitnazarov R., Yurchenko A.A., Larkin D.M. Whole-genome resequencing points to candidate DNA loci affecting body temperature under cold stress in Siberian cattle populations. *Life (Basel)*. 2021;11(9):959. DOI 10.3390/life11090959.

Jeong J., Kwon E.G., Im S.K., Seo K.S., Baik M. Expression of fat deposition and fat removal genes is associated with intramuscular fat content in longissimus dorsi muscle of Korean cattle steers. *J. Anim. Sci.* 2012;90(6):2044-2053. DOI 10.2527/jas.2011-4753.

Khaibullina A., Kenyon N., Guptill V., Quezado M.M., Wang L., Koziol D., Wesley R., Moya P.R., Zhang Z., Saha A., Mukherjee A.B., Quezado Z.M. In a model of Batten disease, palmitoyl protein thioesterase-1 deficiency is associated with brown adipose tissue and thermoregulation.

- lational abnormalities. *PLoS One*. 2012;7(11):e48733. DOI 10.1371/journal.pone.0048733.
- Lemieux P, Roudier E, Birot O. Angiostatic freeze or angiogenic move? Acute cold stress prevents angiokine secretion from murine myotubes but primes primary endothelial cells for greater migratory capacity. *Front. Physiol.* 2022;13:975652. DOI 10.3389/fphys.2022.975652.
- Li W, Liu R, Ma Y, Li J.L., Wu H.J., Liu A.R., Yu Y., Xu Q., Wang Y.C. Effects of severe cold stress on blood biochemical parameters and related gene expression in Sanhe cattle. *Acta Vet. Zootech. Sinica*. 2015;46(8):1463-1470. DOI 10.11843/j.issn.0366-6964.2015.08.024.
- Li G., Zhou S., Li C., Cai B., Yu H., Ma B., Huang Y., Ding Y., Liu Y., Ding Q., He C., Zhou J., Wang Y., Zhou G., Li Y., Yan Y., Hua J., Petersen B., Jiang Y., Sonstegard T., Huang X., Chen Y., Wang X. Base pair editing in goat: nonsense codon introgression into FGF5 results in longer hair. *FEBS J*. 2019;286(23):4675-4692. DOI 10.1111/febs.14983.
- Lin J., Cao C., Tao C., Ye R., Dong M., Zheng Q., Wang C., Jiang X., Qin G., Yan C., Li K., Speakman J.R., Wang Y., Jin W., Zhao J. Cold adaptation in pigs depends on UCP3 in beige adipocytes. *J. Mol. Cell Biol.* 2017;9(5):364-375. DOI 10.1093/jmcb/mjx018.
- Long Y., Li X., Li F., Ge G., Liu R., Song G., Li Q., Qiao Z., Cui Z. Transcriptional programs underlying cold acclimation of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Front. Genet.* 2020;11:556418. DOI 10.3389/fgene.2020.556418.
- Manalu W., Johnson H.D., Li R.Z., Becker B.A., Collier R.J. Assessment of thermal status of somatotropin-injected lactating Holstein cows maintained under controlled-laboratory thermoneutral, hot and cold environments. *J. Nutr.* 1991;121(12):2006-2019. DOI 10.1093/jn/121.12.2006.
- Mohanarao G.J., Mukherjee A., Banerjee D., Gohain M., Dass G., Brahma B., Datta T.K., Upadhyay R.C., De S. *HSP70* family genes and *HSP27* expression in response to heat and cold stress *in vitro* in peripheral blood mononuclear cells of goat (*Capra hircus*). *Small Rumin. Res.* 2014;116(2-3):94-99. DOI 10.1016/j.smallrumres.2013.10.014.
- Morrison S.F., Nakamura K. Central mechanisms for thermoregulation. *Annu. Rev. Physiol.* 2019;81:285-308. DOI 10.1146/annurev-physiol-020518-114546.
- Newton R., Wernisch L. Investigating inter-chromosomal regulatory relationships through a comprehensive meta-analysis of matched copy number and transcriptomics data sets. *BMC Genomics*. 2015;16:967. DOI 10.1186/s12864-015-2100-5.
- Nguyen T.T.T., Bowman P.J., Haile-Mariam M., Pryce J.E., Hayes B.J. Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2016;99(4):2849-2862. DOI 10.3168/jds.2015-9685.
- Page M.J., McKenzie J.E., Bossuyt P.M., Boutron I., Hoffmann T.C., Mulrow C.D., Shamseer L., Tetzlaff J.M., Akl E.A., Brennan S.E., Chou R., Glanville J., Grimshaw J.M., Hróbjartsson A., Lalu M.M., Li T., Loder E.W., Mayo-Wilson E., McDonald S., McGuinness L.A., Stewart L.A., Thomas J., Tricco A.C., Welch V.A., Whiting P., Moher D. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021 29;372:n71. DOI 10.1136/bmj.n71.
- Pitt D., Bruford M.W., Barbato M., Orozco-terWengel P., Martínez R., Sevane N. Demography and rapid local adaptation shape Creole cattle genome diversity in the tropics. *Evol. Appl.* 2018;12(1):105-122. DOI 10.1111/eva.12641.
- Platt S.R. The role of glutamate in central nervous system health and disease – a review. *Vet. J.* 2007;173(2):278-286. DOI 10.1016/j.tvjl.2005.11.007.
- Pokharel K., Weldenegodguad M., Popov R., Honkatukia M., Huuki H., Lindeberg H., Peippo J., Reilas T., Zarovnyaev S., Kantanen J. Whole blood transcriptome analysis reveals footprints of cattle adaptation to sub-arctic conditions. *Anim. Genet.* 2019;50(3):217-227. DOI 10.1111/age.12783.
- Prodanović R., Korićanac G., Vujanac I., Djordjević A., Pantelić M., Romić S., Stanimirović Z., Kirovski D. Obesity-driven prepartal hepatic lipid accumulation in dairy cows is associated with increased CD36 and SREBP-1 expression. *Res. Vet. Sci.* 2016;107:16-19. DOI 10.1016/j.rvsc.2016.04.007.
- Putri M., Syamsunarno M.R., Iso T., Yamaguchi A., Hanaoka H., Sunaga H., Koitabashi N., Matsui H., Yamazaki C., Kameo S., Tsushima Y., Yokoyama T., Koyama H., Abumrad N.A., Kurabayashi M. CD36 is indispensable for thermogenesis under conditions of fasting and cold stress. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2015;457(4):520-525. DOI 10.1016/j.bbrc.2014.12.124.
- Rim J.S., Kozak L.P. Regulatory motifs for CREB-binding protein and Nfe2l2 transcription factors in the upstream enhancer of the mitochondrial uncoupling protein 1 gene. *J. Biol. Chem.* 2002;277(37):34589-34600. DOI 10.1074/jbc.M108866200.
- Seale P., Kajimura S., Yang W., Chin S., Rohas L.M., Uldry M., Tavernier G., Langin D., Spiegelman B.M. Transcriptional control of brown fat determination by PRDM16. *Cell Metab.* 2007;6(1):38-54. DOI 10.1016/j.cmet.2007.06.001.
- Sengupta T., Jaryal A.K., Mallick H.N. Effects of NMDA and non-NMDA ionotropic glutamate receptors in the medial preoptic area on body temperature in awake rats. *J. Therm. Biol.* 2016;61:1-7. DOI 10.1016/j.jtherbio.2016.07.020.
- Schultheiss H.P., Fairweather D., Caforio A.L.P., Escher F., Hershberger R.E., Lipshultz S.E., Liu P.P., Matsumori A., Mazzanti A., McMurray J., Priori S.G. Dilated cardiomyopathy. *Nat. Rev. Dis. Primers*. 2019;5(1):32. DOI 10.1038/s41572-019-0084-1.
- Shen J., Hanif Q., Cao Y., Yu Y., Lei C., Zhang G., Zhao Y. Whole genome scan and selection signatures for climate adaption in Yanbian cattle. *Front. Genet.* 2020;11:94. DOI 10.3389/fgene.2020.00094.
- Singh A.K., Upadhyay R.C., Chandra G., Kumar S., Malakar D., Singh S.V., Singh M.K. Genome-wide expression analysis of the heat stress response in dermal fibroblasts of Tharparkar (zebu) and Karan-Fries (zebu × taurine) cattle. *Cell Stress Chaperones*. 2020;25(2):327-344. DOI 10.1007/s12192-020-01076-2.
- Srikanth K., Kwon A., Lee E., Chung H. Characterization of genes and pathways that respond to heat stress in Holstein calves through transcriptome analysis. *Cell Stress Chaperones*. 2017;22(1):29-42. DOI 10.1007/s12192-016-0739-8.
- Tansey E.A., Johnson C.D. Recent advances in thermoregulation. *Adv. Physiol. Educ.* 2015;39(3):139-148. DOI 10.1152/advan.00126.2014.
- Tavares E., Miñano F.J. RANTES: a new prostaglandin dependent endogenous pyrogen in the rat. *Neuropharmacology*. 2000;39(12):2505-2513. DOI 10.1016/S0028-3908(00)00073-3.
- Truszkowska G.T., Bilińska Z.T., Muchowicz A., Pollak A., Biernacka A., Kozar-Kamińska K., Stawiński P., Gasperowicz P., Kosińska J., Zieliński T., Płoski R. Homozygous truncating mutation in *NRAP* gene identified by whole exome sequencing in a patient with dilated cardiomyopathy. *Sci. Rep.* 2017;7(1):3362. DOI 10.1038/s41598-017-03189-8.
- van den Pol A.N., Hermans-Borgmeyer I., Hofer M., Ghosh P., Heineemann S. Ionotropic glutamate-receptor gene expression in hypothalamus: localization of AMPA, kainate, and NMDA receptor RNA with *in situ* hybridization. *J. Comp. Neurol.* 1994;343(3):428-444. DOI 10.1002/cne.903430307.
- Verma P., Sharma A., Sodhi M., Thakur K., Kataria R.S., Niranjan S.K., Bharti V.K., Kumar P., Giri A., Kalia S., Mukesh M. Transcriptome analysis of circulating PBMCs to understand mechanism of high altitude adaptation in native cattle of Ladakh Region. *Sci. Rep.* 2018;8(1):7681. DOI 10.1038/s41598-018-25736-7.
- Xiang R., Berg I.V.D., MacLeod I.M., Hayes B.J., Prowse-Wilkins C.P., Wang M., Bolormaa S., Liu Z., Rochford S.J., Reich C.M., Mason B.A., Vander Jagt C.J., Daetwyler H.D., Lund M.S., Chamberlain A.J., Goddard M.E. Quantifying the contribution of sequence variants with regulatory and evolutionary significance to 34 bovine complex traits. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2019;116(39):19398-19408. DOI 10.1073/pnas.1904159116.
- Xin Y.P., Zan L.S., Liu Y.F., Tian W.Q., Wang H.B., Cheng G., Li A.N., Yang W.C. Genetic diversity of Y-short tandem repeats in Chinese native cattle breeds. *Genet. Mol. Res.* 2014;13(4):9578-9587. DOI 10.4238/2014.November.14.1.
- Xu Q., Wang Y.C., Liu R., Brito L.F., Kang L., Yu Y., Wang D.S., Wu H.J., Liu A. Differential gene expression in the peripheral blood of Chinese Sanhe cattle exposed to severe cold stress. *Genet. Mol. Res.* 2017;16(2):1-13. DOI 10.4238/gmr16029593.
- Yan C.L., Lin J., Huang Y.Y., Gao Q.S., Piao Z.Y., Yuan S.L., Chen L., Ren X., Ye R.C., Dong M., Zhang H.L., Zhou H.Q., Jiang X.X., Jin W.Z., Zhou X.M., Yan C.G. Population genomics reveals that natural variation in PRDM16 contributes to cold tolerance in domestic cattle. *Zool. Res.* 2022;43(2):275-284. DOI 10.24272/j.issn.2095-8137.2021.360.

- Yuan Y., Zhang Y., Zhang P., Liu C., Wang J., Gao H., Hoelzel A.R., Seim I., Lv M., Lin M., Dong L., Gao H., Yang Z., Caruso F., Lin W., da Fonseca R.R., Wang D., Wang X., Rasmussen M.H., Liu M., Zheng J., Zhao L., Campos P.F., Kang H., Iversen M., Song Y., Guo X., Guo J., Qin Y., Pan S., Xu Q., Meng L., Liu S., Lee S.M., Liu X., Xu X., Yang H., Fan G., Wang K., Li S. Comparative genomics provides insights into the aquatic adaptations of mammals. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 2021; 118(37):e2106080118. DOI 10.1073/pnas.2106080118.
- Yurchenko A., Yudin N., Aitnazarov R., Plyusnina A., Brukhin V., Soloshenko V., Lhasaranov B., Popov R., Paronyan I.A., Plemyashov K.V., Lar-kin D.M. Genome-wide genotyping uncovers genetic profiles and history of the Russian cattle breeds. *Heredity (Edinb.)*. 2018; 120(2): 125-137. DOI 10.1038/s41437-017-0024-3.
- Zheng J., Du M., Zhang J., Liang Z., Ahmad A.A., Shen J., Salekdeh G.H., Ding X. Transcriptomic and metabolomic analyses reveal inhibition of hepatic adipogenesis and fat catabolism in yak for adaptation to forage shortage during cold season. *Front. Cell Dev. Biol.* 2022;9: 759521. DOI 10.3389/fcell.2021.759521.
- Zhou L., Ding X., Zhang Q., Wang Y., Lund M.S., Su G. Consistency of linkage disequilibrium between Chinese and Nordic Holsteins and genomic prediction for Chinese Holsteins using a joint reference population. *Genet. Sel. Evol.* 2013;45(1):7. DOI 10.1186/1297-9686-45-7.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.01.2023. После доработки 24.01.2023. Принята к публикации 25.01.2023.

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-03

Оригинальное исследование

Вирулентность популяции возбудителя покрытой головни овса *Ustilago kollerii* в Новосибирской области

Н.П. Бехтольд , Е.А. Орлова , Ю.Н. Григорьев 

Аннотация: В Новосибирской области широко распространено заболевание покрытой головни овса, вызванное возбудителем *Ustilago kollerii* Wille. С 2013 по 2022 г. проведены исследования по определению расовой дифференциации популяции возбудителя покрытой головни овса. Работа выполнена на искусственном инфекционном фоне фитопатологического участка лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН с использованием общепринятого российского набора сортов-дифференциаторов. Анализ экспериментальных данных показал, что новосибирская популяция *U. kollerii* не дифференцируется на расы. Сорта-дифференциаторы проявляют тип реакции, который не соотносится с известным ключом для определения рас. С 2020 г. выявлены изменения в вирулентности популяции *U. kollerii*. Высокоустойчивые сорта Monarch, Fulghum, Сиг и Орион с 2020 г. стали в значительной степени поражаться патогеном. Стабильную устойчивость к возбудителю покрытой головни за все годы наблюдений проявляли сорта Black Diamond, Black Mesdag и Льговский 1026. Отмечено отличие новосибирской популяции гриба по вирулентности от популяций Омской области и Алтайского края.

Ключевые слова: овес посевной; вирулентность; популяция; покрытая головня; расовый состав; сорта-дифференциаторы; возбудитель; споры; сорт; иммунитет.

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Для цитирования: Бехтольд Н.П., Орлова Е.А., Григорьев Ю.Н. Вирулентность популяции возбудителя покрытой головни овса *Ustilago kollerii* в Новосибирской области. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(1):15-20. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-03

Original article

Virulence of the pathogen of covered smut of oats *Ustilago kollerii* in the Novosibirsk region

N.P. Behtold , E.A. Orlova , Yu.N. Grigoriev 


Abstract: In the Novosibirsk region, the disease of covered smut of oats caused by the pathogen *Ustilago kollerii* Wille is widespread. Between 2013 and 2022 studies were carried out to determine the racial differentiation of the population of the causative agent of covered smut of oats. The work was carried out on an artificial infectious background of the phytopathological site of the Plant Gene Pool Laboratory of SibNIIRS, a branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, using the generally accepted Russian set of differentiator varieties. An analysis of the experimental data showed that the Novosibirsk population of *U. kollerii* does not differentiate into races. Varietal differentiators exhibit a type of response that does not correlate with the known key for determining races. It was revealed that since 2020 there have been changes in the virulence of the *U. kollerii* population. The highly resistant cultivars Monarch, Fulghum, Sig and Orion have been heavily attacked by the pathogen since 2020. Varieties Black Diamond, Black Mesdag and Lgovsky 1026 showed stable resistance to the pathogen of covered smut over all the years of observations. The difference of the Novosibirsk population of the fungus in terms of virulence from the populations of the Omsk Region and Altai Territory was noted.

Key words: seed oats; virulence; population; dusty smut; covered smut; racial composition; differentiator varieties; pathogen; spores; variety; immunity.

Acknowledgments: The work was supported by the budget project of the ICG SB RAS No. FWNR-2022-0018.

For citation: Behtold N.P., Orlova E.A., Grigoriev Yu.N. Virulence of the pathogen of covered smut of oats *Ustilago kollerii* in the Novosibirsk region. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(1):15-20. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-03 (in Russian)

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

 telichkinanina@mail.ru © Бехтольд Н.П., Орлова Е.А., Григорьев Ю.Н., 2023

Введение

Овес – универсальная по распространенности и использованию культура (Градобоев, Баталова, 2020). Овес выращивают во всех зерносеющих областях России, он служит сырьем для пищевой и комбикормовой промышленности (Николаев и др., 2019). В Новосибирской области овес находится на третьем месте по занимаемым площадям, уступая пшенице и яровому ячменю. Выращивают в основном пленчатые сорта сибирской селекции. С 2013 по 2022 г. площадь данной культуры варьировала от 155.8 до 228 тыс. га¹.

Овес подвержен многим грибным заболеваниям, которые выступают ключевыми причинами ухудшения качества зерна и снижения урожая. Среди них наиболее вредоносные пыльная (*Ustilago avenae* Pers.) и покрытая (*Ustilago kollerii* Wille) головня (Мешкова, Пяткова, 2017; Мешкова и др., 2020). Головневые заболевания вызывают микроскопические грибы класса Basidiomycetes порядка Ustilaginales. Специализированные паразиты способны заражать растения только одного вида (Бахарева, 1978, 2003). В Новосибирской области (по данным полевой апробации посевов) максимальное распространение головневых болезней на растениях овса в 2022 г. составило 20.0 %².

Возбудитель покрытой головни овса (*U. kollerii* Wille) – одно из наиболее распространенных и вредоносных инфекционных заболеваний. Симптомы заболевания заметны с начала выхода метелок из влагалища. Внешние колосковые чешуи каждого колоска разрушаются только частично, поэтому споры не рассыпаются и колоски сохраняют нормальную форму – при обмолоте не пылят, а разламываются на кусочки (рис. 1).

Хламидоспоры возбудителя гладкие, светло-коричневые. При прорастании образуют четырехклеточный промицелий со споридиями (рис. 2). На семенах овса хламидоспоры сохраняются в бороздках, трещинах и между чешуями. При набухании семян они прорастают, образуют споридии и дикариотические гифы, которые инокулируют колеоптиле (Кривченко, 1984). Наиболее благоприятная температура почвы для развития возбудителя составляет 10–25 °С.

Потеря сортами устойчивости объясняется появлением новых вирулентных рас. Исследования многих авторов подтверждают, что первый этап при работе с головневыми грибами заключается в определении расового состава популяции в конкретной агроклиматической зоне (Заушинцева и др., 2005; Христов и др., 2007; Свиркова и др., 2016; Орлова, Бехтольд, 2019). В сравнении с другими фитопатогенными грибами в отношении возбудителей головневых понятие о расе видоизменено в связи со спецификой биологии гриба. Расы в применении к головневым – чаще всего либо культурально различающиеся гаплоидные клетки, либо отличающиеся по вирулентности споровые популяции. Несмотря на эти особенности возбудителя, термин «физиологическая раса» установлен и определяется как образец хламидоспор,

который имеет относительно одинаковую вирулентность на определенных тест-сортах (Бахарева, 1981, 2003; Кривченко, 1984).

Исследования расового состава возбудителя покрытой головни овса начал проводить Н.И. Вавилов. Еще в 1918 г. ученый отметил физиологическую специализацию возбудителя на сорте Black Mesdag. Расовую дифференциацию головни овса изучали в США (G.M. Reed, K. Sampson, J.W. Tervet, E.D. Hansing, T.R. Staton), Канаде (W.J. Cherewick, J. Nielsen), Шотландии (E.G. Gray) и Чехословакии (P. Bartos) (Nielsen, 1977; Вавилов, 1986). Идентификацию рас возбудителя покрытой головни в России продолжили специалисты Всеобщего института растениеводства (ныне Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, ВИР) под руководством В.И. Кривченко (1984). Учеными предложен тестерный ряд, включавший набор сортов-дифференциаторов Холтона и Роденхайзера, дополненный устойчивыми в России сортами. Всего на этом наборе для нашей страны установлены четыре расы покрытой головни овса (Кривченко, 1984).

По данным Л.В. Пестовой (1981), при обследовании территории Алтайского края отмечено появление новых 12 рас *U. kollerii*. На посевах в Омской области в 1978 г. выявлена раса У-2, к которой проявляют устойчивость три сорта стандартного тест-набора – Victory, Fulghum и Black Mesdag (Мешкова, Пяткова, 2017). В Новосибирской области изучением расового состава покрытой головни овса занималась Ж.А. Бахарева, которая определила расу 1 (1978). В дальнейшем исследований по определению расового состава популяции возбудителя покрытой головни овса не проводили. В связи с этим нами с 2013 г. продолжено изучение вирулентности популяции возбудителя заболевания *U. kollerii* в Новосибирской области.

Материалы и методы

Анализ вирулентности популяции возбудителя покрытой головни овса проводили в 2013–2022 гг. в полевых условиях на инфекционном фоне фитопатологического участка лаборатории генофонда растений СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН, расположенного в 17 км от Новосибирска.

Семена инфицировали за месяц до посева телиоспорами *U. kollerii* на приборе РТ-1 по методике Кривченко (1984) (рис. 3). Инфекционный материал собирали ежегодно с отдельных колосьев различных сортов с селекционных полей СибНИИРС в фазу молочно-восковой спелости. Инокулюм для заражения готовили из расчета 2 г спор на 1 л воды. Для быстрого и массового прорастания хламидоспор использовали питательную среду, содержащую 0.2 % агар-агара и 1 % глюкозы. Семена изучаемых образцов помещали в бумажные пакеты в количестве 80–90 зерен в двух повторениях. В стакан прибора наливали по 300 мл питательной среды и добавляли инокулюм. Обработанные семена овса высыпали обратно в бумажные пакеты, закрывали полиэтиленовой пленкой и оставляли на сутки при комнатной температуре. На следующий день пакеты открывали для просушивания. Подсушенные семена помещали в прохладное место и хранили до посева.

¹ Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. Методологические пояснения. Доступно: <https://novosibstat.gks.ru/folder/32616>

² Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Новосибирской области в 2021 году и прогноз развития вредных объектов в 2022 году. Новосибирск, 2022. Доступно: <https://direct.farm/content/c08/c0888fe705354d39b32fea41117dd8ec4043266.pdf>



Рис. 1. Пораженная *U. kollerii* метелка
Fig. 1. Panicle affected by *U. kollerii*

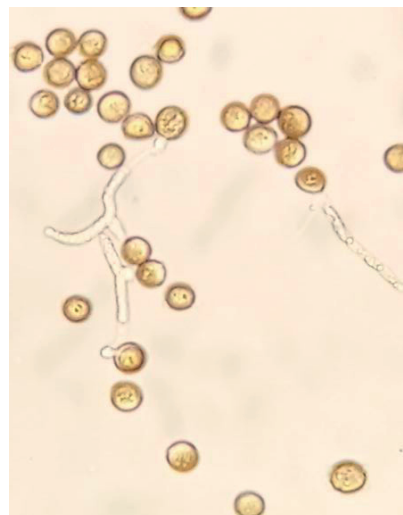


Рис. 2. Прорастание хламидоспор *U. kollerii*
Fig. 2. Germination of chlamydospores *U. kollerii*



Рис. 3. Прибор РТ-1
Fig. 3. Device RT-1

Опыты размещали по пару. Обработка почвы – зяблевая вспашка, ранневесеннее боронование, предпосевные культивация и внесение удобрений. Посев осуществляли в первой декаде мая кассетной сеялкой СКС-6, каждого сорта высевали не менее 100 инфицированных зерен (рис. 4). Погодные условия в годы исследований различались, но в основном были благоприятными для создания инфекционного фона, а также роста и развития растений овса. Дифференциацию рас возбудителя осуществляли по методике ВИР на общепринятом российском наборе сортов-дифференциаторов с идентифицированными генами устойчивости *Uk* (табл. 1) (Кривченко, 1984).

Учетную реакцию каждого сорта фиксировали по максимальному поражению. Подсчет больных и здоровых метелок проводили в фазу молочной спелости зерна. Степень устойчивости растений определяли по шкале В.И. Кривченко (1984), где R (Resistance) – устойчивые сорта (поражение до 10 %), S (Sensitive) – восприимчивые сорта (поражение более 10 %). Полученные результаты сопоставляли с ключом для определения физиологических рас (табл. 2).

С целью контроля вирулентности популяций проводили оценку устойчивых сортов Сиг, Орион и стандарта восприимчивости – Ровесник.

**Рис. 4.** Фитопатологический участок**Fig. 4.** Phytopathological site**Таблица 1.** Тест-сорты для идентификации рас возбудителя покрытой головни овса**Table 1.** Test-varieties for the identification of race covered smut of oats

№ по каталогу ВИР	Сорт	Происхождение	Ген устойчивости
			<i>Uk</i>
8054	Anthony	США	–
1830	Black Diamond	Франция	–
8259	Victory	Швеция	24, 25
1854	Gothland	США	–
2038	Monarch	Франция	–
2022	Fulghum	США	–
9981	Leline	США	–
9809	Black Mesdag	Франция	–
10790	Льговский 1026	СССР	–

Таблица 2. Ключ для определения рас *U. kollerii***Table 2.** Race key for *U. kollerii*

№ расы	Тип реакции сортов-дифференциаторов								
	Anthony	Black Diamond	Victory	Gothland	Monarch	Fulghum	Black Mesdag	Leline	Льговский 1026
1	S	R	R	S	S	R	R	R	S
2	S	R	R	S	R	R	R	R	S
3	S	R	R	S	S	R	R	S	R
4	S	R	R	R	S	R	R	R	R

Примечание. Здесь и далее в табл. 3: R – устойчивая реакция, S – восприимчивая реакция.

Результаты и обсуждение

При анализе данных по изучению вирулентности покрытой головни овса установлено, что популяция возбудителя *U. kollerii* в Новосибирской области не дифференцируется с момента изучения, тип реакции не совпадал с известным

ключом для определения рас (табл. 3). Сорт Ровесник (индикатор восприимчивости) имел высокий процент поражения, что свидетельствовало о качественном искусственном инфекционном фоне. За все годы исследования сорта Anthony, Victory, Leline были восприимчивы к популяции

Таблица 3. Поражаемость (%) сортов-дифференциаторов овса популяцией возбудителя покрытой головни, 2013–2022 гг.
Table 3. Infection (%) of varieties of oat differentiators by the population of the causative agent of covered smut, 2013–2022

Сорт	2013–2018 гг.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Anthony	(21.9–65.7) S	(27.5) S	(45.2) S	(12.3) S	(39.8) S
Black Diamond	(0) R	(0) R	(0) R	(0) R	(3.9) R
Victory	(11.9–27.0) S	(13.1) S	(45.5) S	(11.5) S	(25.8) S
Gothland	(0.0–1.5) R	(0) R	(9.9) R	(9.7) R	(4.9) R
Monarch	(0.0–2.3) R	(10.1) R-S	(62.7) S	(15.4) S	(50.2) S
Fulghum	(0) R	(0) R	(50.6) S	(40.1) S	(19.6) S
Black Mesdag	(0) R	(0) R	(2.9) R	(0) R	(0) R
Leline	(5.7–22.5) S	(42.8) S	(85.8) S	(80.2) S	(70.1) S
Льговский 1026	(0.0–9.4) R	(8.0) R	(2.3) R	(0) R	(6.4) R
Ровесник, индикатор	(29.3–61.9) S	(28.9) S	(51.4) S	(43.1) S	(82.4) S

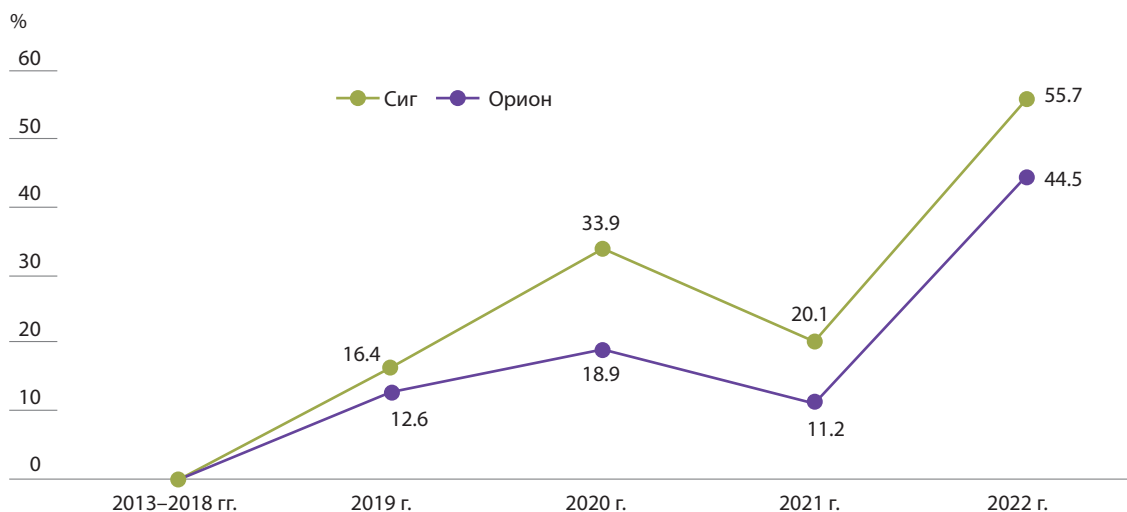


Рис. 5. Динамика поражения сортов Сиг, Орион и Ровесник возбудителем *U. kollerii*, 2013–2022 гг.

Fig. 5. Dynamics of infection of varieties Sig, Orion and Rovesnik by the pathogen *U. kollerii*, 2013–2022

возбудителя. Согласно ключу для определения рас, сорт Victory, несущий два гена устойчивости (*Uk-24* и *Uk-25*), выступал иммунным ко всем четырем расам. В представленном исследовании поражение этого тест-сорта составило от 11.9 до 45.5% (см. табл. 3). На протяжении десяти лет в Новосибирской области сохраняли устойчивость сорта Black Diamond, Black Mesdag и Льговский 1026.

С 2020 г. генетическая структура популяции претерпела изменения, появились новые расы, способные преодолеть устойчивость сортов Gothland, Monarch и Fulghum (см. табл. 3). Если до 2019 г. популяция возбудителя была авирулентна к сортам Monarch и Fulghum, то с 2020 г. сорта потеряли устойчивость. На протяжении трех лет (2020–2022 гг.) данные сорта показывали восприимчивую реакцию к патогену.

С учетом изменения поражения тест-сортов Monarch, Fulghum и сортов Сиг, Орион результаты изучения условно

разделили на два периода: с 2013 по 2018 и с 2019 по 2022 г. Сорта Сиг и Орион проявляли иммунитет к популяции покрытой головни до 2018 г. (рис. 5). Если в 2019 г. поражение возбудителем *U. kollerii* сорта Сиг составило 12.6%, сорта Орион – 16.4%, то в 2022 г. уже 44.5 и 55.7% соответственно. Мы можем предположить, что появились новые вирулентные расы, которые преодолели устойчивость сортов Monarch, Fulghum, Сиг и Орион. Изменение вирулентности патогенов, вероятно, обусловлено сортообновлением и генетической однородностью по устойчивости выращиваемых сортов.

По данным Л.В. Мешковой и О.В. Пятковой (2017), в Омской области в популяции *U. kollerii* зафиксирована раса У-2, которая в отличие от новосибирской популяции поражает сорта Black Diamond, Gothland и не поражает сорта Victory и Fulghum. В популяции Алтайского края Л.В. Пестовой (1996) отмечено 12 новых рас возбудителя покрытой головни. Все

расы были вирулентны к тест-сорт Black Diamond за исключением расы К-7. В сравнении с новосибирской популяцией эта раса поражала сорт Львовский 1026, но не поражала тест-сорт Fulghum. Таким образом, популяция покрытой головки овса в Новосибирской области отличается от популяций, распространенных на территории Омской области и Алтайского края.

Заключение

Результаты представленного исследования показали изменения в популяции возбудителя *U. kollerii* по признаку вирулентности к сортам-дифференциаторам с 2019 г. На это указывает снижение устойчивости сортов Сиг и Орион, а также сортов-дифференциаторов Monarch и Fulghum. По ключу для определения рас *U. kollerii*, рекомендованному ВИР (1984), новосибирская популяция не дифференцируется в течение десяти лет наблюдений. Стабильную устойчивость к возбудителю покрытой головки овса проявляют сорта Black Diamond, Gothland, Black Mesdag и Львовский 1026. Отмечено отличие популяции гриба в Новосибирской области по признаку вирулентности от популяций Омской области и Алтайского края. Сорт Victory, несущий известные два гена устойчивости (*Uk-24*, *Uk-25*), в Новосибирской области является восприимчивым к *U. kollerii* (поражение семян до 45.5 %).

Список литературы / References

Бахарева Ж.А. Изучение расового состава головневых заболеваний зерновых культур в Западной Сибири. В: Проблемы селекции и семеноводства полевых культур в Сибири. Новосибирск, 1978; 93-96.
[Bakhareva Zh.A. The study of the racial composition of smut diseases of grain crops in Western Siberia. In: Problems of selection and seed production of field crops in Siberia. Novosibirsk, 1978;93-96. (in Russian)]

Бахарева Ж.А. Устойчивость зерновых культур к головневым болезням в Западной Сибири. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 1981.
[Bakhareva Zh.A. Resistance of grain crops to smut diseases in Western Siberia. Cand. Sci. (Agricul.) Dissertation. Novosibirsk, 1981. (in Russian)]

Бахарева Ж.А., Христов Ю.А. Создание сортов зерновых культур, устойчивых к головневым заболеваниям в Западной Сибири. Новосибирск: СибНИИРС, 2003.
[Bakhareva Zh.A., Khristov Yu.A. Creation of varieties of grain crops resistant to smut diseases in Western Siberia. Novosibirsk: SibNIIRS Publ., 2003. (in Russian)]

Вавилов Н.И. Иммуниет растений к инфекционным заболеваниям. М.: Наука, 1986.
[Vavilov N.I. Plant immunity to infectious diseases. Moscow: Nauka Publ., 1986. (in Russian)]

Градобоева Т.П., Баталова Г.А. Влияние факторов среды на устойчивость овса к пыльной головне. *Зерновое хозяйство России*. 2020;3(69):72-76. DOI 10.31367/2079-8725-2020-69-3-72-76.
[Gradoboeva T.P., Batalova G.A. The effect of environmental factors on oats resistance to loose smut. *Grain Economy of Russia*. 2020;3(69): 72-76. DOI 10.31367/2079-8725-2020-69-3-72-76. (in Russian)]

Заушинцева А.В., Сартакова С.В., Чуманова Н.Н. Расовая дифференциация видов головки овса в Западной Сибири. В: Доклады и сообщения 9-й генетико-селекционной школы-семинара. Новосибирск, 2005;330-334.

[Zaushintsena A.V., Sartakova S.V., Chumanova N.N. Racial differentiation of oat smut species in Western Siberia. In: Reports and messages of the 9th genetic breeding school-seminar. Novosibirsk, 2005; 330-334. (in Russian)]

Кривченко В.И. Устойчивость зерновых колосовых к возбудителям головневых болезней. М.: Колос, 1984.
[Krivchenko V.I. Resistance of grain crops to pathogens of smut diseases. Moscow: Kolos Publ., 1984. (in Russian)]

Мешкова Л.В., Николаев П.Н., Васюкевич С.В., Сабаяева О.Б., Пяткова О.В. Иммунологические исследования ячменя и овса по устойчивости к природным популяциям головневых заболеваний. *Достижения науки и техники АПК*. 2020;34(10):43-49. DOI 10.24411/0235-2451-2020-11006.
[Meshkova L.V., Nikolaev P.N., Vasyukevich S.V., Sabaeva O.B., Pyatkova O.V. Immunological characteristics of barley and oats for resistance to natural populations of smut diseases. *Achievement of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2020;34(10):43-49. DOI 10.24411/0235-2451-2020-11006. (in Russian)]

Мешкова Л.В., Пяткова О.В. Мониторинг популяций возбудителей головневых заболеваний овса в Омской области. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017; 11(157):13-18.
[Meshkova L.V., Pyatkova O.V. Monitoring of pathogen populations of smuts of oats in the Omsk region. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2017;11(157):13-18. (in Russian)]

Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях Омского Прииртышья. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;179(4):28-38. DOI 10.30901/2227-8834-2019-28-38.
[Nikolaev P.N., Aniskov N.I., Yusova O.A., Safonova I.V. Adaptability of spring oat yield in the environments of the Near-Irtysh area in Omsk province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;179(4):28-38. DOI 10.30901/2227-8834-2019-28-38. (in Russian)]

Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головне в условиях лесостепи Западной Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524.
[Orlova E.A., Baechtold N.P. Characteristics of the gene pool of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to loose smut in the forest-steppe of Western Siberia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524. (in Russian)]

Пестова Л.В. Изучение исходного материала овса на устойчивость к пыльной головне с целью использования в селекции в условиях Западной Сибири. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 1981.
[Pestova L.V. The study of the source material of oats for resistance to loose smut for the purpose of using in breeding in the conditions of Western Siberia. Cand. Sci. (Agricul.) Dissertation. Novosibirsk, 1981. (in Russian)]

Свиркова С.В., Старцев А.А., Заушинцева А.В. Болезни овса в Западной Сибири и генетические источники устойчивости. *Известия ТСХА*. 2016;1:108-115.
[Svirkova S.V., Startsev A.A., Zaushintsena A.V. Oats diseases in Western Siberia and genetic sources of resistance. *Izvestiya TSHA*. 2016;1: 108-115. (in Russian)]

Христов Ю.А., Бахарева Ж.А., Орлова Е.А., Сочалова Л.П. Иммунологические исследования в селекционном процессе основных сельскохозяйственных культур. *Достижения науки и техники АПК*. 2007;12:14-16.
[Khristov Yu.A., Bakhareva Zh.A., Orlova E.A., Sochalova L.P. Immunological studies in the selection process of the main agricultural crops. *Achievement Sci. Technol. Agro-Industrial Complex*. 2007;12:14-16. (in Russian)]

Nielsen J. A collection of cultivars of oats immune or highly resistant to smut. *Can. J. Plant Sci*. 1977;57(1):199-212. DOI 10.4141/cjps77-028.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 08.12.2022. После доработки 25.01.2023. Принята к публикации 01.02.2023.

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-04

Оригинальное исследование

Изучение устойчивости к некоторым заболеваниям сортов и линий яровой пшеницы питомника КАСИБ-22

Е.В. Агеева , Т.Н. Капко , В.В. Советов 

Аннотация: Наблюдаемые изменения климата не только приводят к варьированию гидротермических условий, но и сказываются на развитии растений, распространении и проявлении заболеваний. На сегодняшний день главная задача селекционера – создание сортов, устойчивых к стрессовым факторам и способных давать высокий и стабильный урожай. В работе представлены результаты оценки устойчивости образцов мягкой пшеницы из питомника КАСИБ-22 к основным листовым патогенам и пыльной головне. Цель исследования – иммунологический мониторинг сортов и линий российской и казахстанской селекции в условиях лесостепной зоны Приобья. Объектом исследований выбраны 44 образца пшеницы, полученные из различных регионов России и Казахстана в рамках программы челночной селекции КАСИБ. Полевые наблюдения в 2021–2022 гг. позволили выделить генотипы, обладающие высокой устойчивостью к местным популяциям возбудителей бурой ржавчины, пыльной головни и мучнистой росы. Так, комплексной устойчивостью к этим патогенам обладают Линия Пт-235, Линия Пт-311, Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Лютеценс 1489, Лютеценс 76-17. По результатам корреляционного анализа отмечена сильная отрицательная связь между урожайностью и развитием листовых патогенов. Более благоприятным для формирования высокой урожайности был 2021 г. Урожайность на уровне 51.0 ц/га и выше получена у генотипов Новосибирская 18, Линия Пт-311, КС 60/09-9 и Лютеценс 71/10-4. В 2022 г. максимальная урожайность составила 46.9 ц/га (Лютеценс 1486). В качестве высокопродуктивных и обладающих высокой и средней устойчивостью к бурой ржавчине, мучнистой росе и пыльной головне отмечены селекционные образцы Линия Пт-311 (Курганский НИИСХ), Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Линия 1616ae14 (Самарский НИИСХ), Лютеценс 1356 (ИЦиГ СО РАН). Каждая из указанных линий представляет практическую ценность для селекции.

Ключевые слова: яровая пшеница; мучнистая роса; бурая ржавчина; пыльная головня; устойчивость.

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0018.

Для цитирования: Агеева Е.В., Капко Т.Н., Советов В.В. Изучение устойчивости к некоторым заболеваниям сортов и линий яровой пшеницы питомника КАСИБ-22. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(1):21-29. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-04


Original article


Study of varieties and lines of wheat in the KASIB-22 nursery for resistance to certain diseases

E.V. Ageeva , T.N. Kapko , V.V. Sovetov 

Abstract: Observed climate changes lead to variations in hydrothermal conditions, and also affect the development of plants and the spread and manifestation of diseases. To date, the main task of the breeder is to create varieties that are resistant to stress factors and capable of producing a high and stable yield. The paper presents the results of assessing the resistance of common wheat from the KASIB-22 nursery to the main leaf pathogens and head smut. The purpose of the study is the immunological monitoring of varieties and lines of Russian and Kazakh selection in the conditions of the forest-steppe zone of the Ob region. The object of research was 44 samples of wheat obtained from various regions of Russia and Kazakhstan as part of the KASIB shuttle breeding program. Field observations in 2021–2022 made it possible to identify genotypes with high resistance to local populations of pathogens of leaf rust, loose smut and powdery mildew. Complex resistance to these pathogens is possessed at Line Pt-235, Line Pt-311, Lutescens 1462, Lutescens 1486, Lutescens 1489, Lutescens 76-17. According to the results of the correlation analysis, a strong negative relationship was noted between the yield and the development of leaf pathogens. The year 2021 was more favorable for the formation of high yields. Yields at the level of 51.0 c/ha and above were obtained in Novosibirskaya 18, Line Pt-311, KS 60/09-9 and Lutescens 71/10-4 genotypes. In 2022, the maximum yield was 46.9 c/ha (Lutescens 1486). The following breeding lines were noted as highly productive and having high and

Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

 elenakolomeec@mail.ru

 © Агеева Е.В., Капко Т.Н., Советов В.В., 2023

medium resistance to leaf rust, powdery mildew and loose smut: Line Pt-311 (Kurgan Research Institute of Agriculture), Lutescens 1462, Lutescens 1486, Line 1616ae14 (Samara Research Institute of Agriculture), Lutescens 1356 (Institute of Cytology and Genetics, SB RAS). Each of the selected lines is of practical value for breeding.

Key words: common wheat; powdery mildew; leaf rust; loose smut; resistance.

For citation: Ageeva E.V., Kapko T.N., Sovetov V.V. Study of varieties and lines of wheat in the KASIB-22 nursery for resistance to certain diseases. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(1):21-29. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-04 (in Russian)

Введение

В последние годы климат на Земле заметно меняется (Magomedov et al., 2021; Soroush et al., 2022), влияя на температуру воздуха и амплитуду выпадения осадков. Климатическая изменчивость играет значительную роль в формировании урожая растений и распространении и проявлении заболеваний. Пшеница – одна из основных продовольственных культур, качество зерна которой значительно зависит от технологии возделывания и почвенно-климатических условий вегетации (Сергеева и др., 2020; Vannoppen, Gobin, 2021).

В 2000 г. СИММИТ в сотрудничестве с ведущими научно-исследовательскими институтами пшеницы Северного Казахстана и Западной Сибири создал Казахстанско-Сибирскую сеть по улучшению яровой пшеницы (КАСИБ) (Morgounov et al., 2007). Основная цель проекта заключается в проведении совместных испытаний в нескольких географических точках, обмене генетическим материалом и координированной оценке перспективных селекционных линий и новых сортов по комплексу агрономических показателей, таких как урожайность зерна и устойчивость к болезням (Morgounov et al., 2020). Первый КАСИБ собрал 12 селекционных и научно-исследовательских учреждений, занимающихся изучением пшеницы, сегодня сеть объединяет 18 учреждений-участников (Шаманин, Чурсин, 2008; Morgounov et al., 2022).

Засушливая погода отрицательно сказывается на распространении патогенов бурой ржавчины, мучнистой росы и пыльной головни, тогда как годы, сопровождаемые повышенным выпадением осадков и низкой температурой воздуха, благоприятны для возбудителей. Бурая ржавчина относится к одной из распространенных болезней пшеницы, которая может приводить к значительному снижению урожая. Заражение мучнистой росой уменьшает интенсивность фотосинтеза листовой пластинки и дыхания растения. Также поражение данным патогеном приводит к снижению массы зерна (Койшыбаев, 2018).

Заражение зерновых культур пыльной головней происходит в период цветения. В благоприятный год пыльная головня может привести к значительным потерям урожая – не только к явным, но и скрытого характера: формированию меньшего по размеру колоса, пониженной озерненности колосков и т. д. (Доброзракова, 1974). Сортообразцы из питомника КАСИБ в качестве исходного материала могут иметь важное значение в решении задачи повышения устойчивости пшеницы к листовым болезням за счет расширения генотипического разнообразия (Шаманин, Потоцкая, 2016). Цель исследования – иммунологический мониторинг

сорт и линий российской и казахстанской селекции в условиях лесостепной зоны Приобья.

Материалы и методы

В условиях Новосибирской области на опытном поле лаборатории селекции, семеноводства и технологии возделывания полевых культур СибНИИРС – филиала ИЦиГ СО РАН (ГУСП ОПХ «Элитное») в 2021–2022 гг. у 44 генотипов из питомника КАСИБ-22 оценены урожайность, продолжительность вегетационного периода и устойчивость к болезням (мучнистая роса, пыльная головня, бурая ржавчина). Сорты представлены из различных регионов России (21 генотип) и Казахстана (15). В питомнике задано 5 международных стандартов: Терция (Омск, РФ), Памяти Азиева (Омск, РФ), Астана 2 (Акмолинская обл., Казахстан), Омская 35 (Омск, РФ) и Саратовская 29 (Саратов, РФ). В качестве местных стандартов взяты сорта Новосибирская 41, Новосибирская 18 и Сибирская 12. Посев проведен по пару, делянки площадью 2 м², 3-кратная повторность. Посев осуществлен во второй декаде мая в сроки, оптимальные для посева мягкой яровой пшеницы.

Сортообразцы питомника разделены на три группы по срокам созревания: раннеспелые и среднеранние, средне-спелые, среднепоздние. Разграничение на поздние и ранние условное, так как эти сорта выращивают вне конкретных условий среды и района их создания. Продолжительность вегетационного периода у сортов и линий яровой пшеницы для Новосибирского Приобья определена по методике С.И. Леонтьева (1980), используемой многими исследователями: к скороспелым относятся формы с вегетационным периодом в 70–75 сут., к среднеранним – 76–78 сут., к средне-спелым – 80–82 сут. и среднепоздним – 84–86 сут.

Учеты бурой ржавчины проводили в фазу молочной спелости зерна. Степень поражения сортов мягкой яровой пшеницы ржавчиной оценивали по шкале СИММИТ, где О – отсутствие патогена; R – устойчивость, поражение листьев не более 5–10 %; MR – средняя устойчивость, поражение листьев не более 30 %; MS – средняя восприимчивость, пораженность листьев до 40–50 %; S – восприимчивость, поражение листьев свыше 75 % (Койшыбаев, Муминджанов, 2016).

Степень поражения мучнистой росой определяли в фазу от стеблевания до колошения по шкале Э.Э. Гешеле, где: 0 – 0 % поражение площади листа; 1 – 10 %; 2 – 20 %; 3 – 30 %; 4 – 40 %; 5 – 50 %; 6 – 60 %; 7 – 70 %; 8 – 80 %; 9 – 90 % (Койшыбаев, Муминджанов, 2016). Пыльную головню удобнее учитывать в фазе колошения–цветения, когда пораженные растения лучше заметны в посевах (Танский и др.,

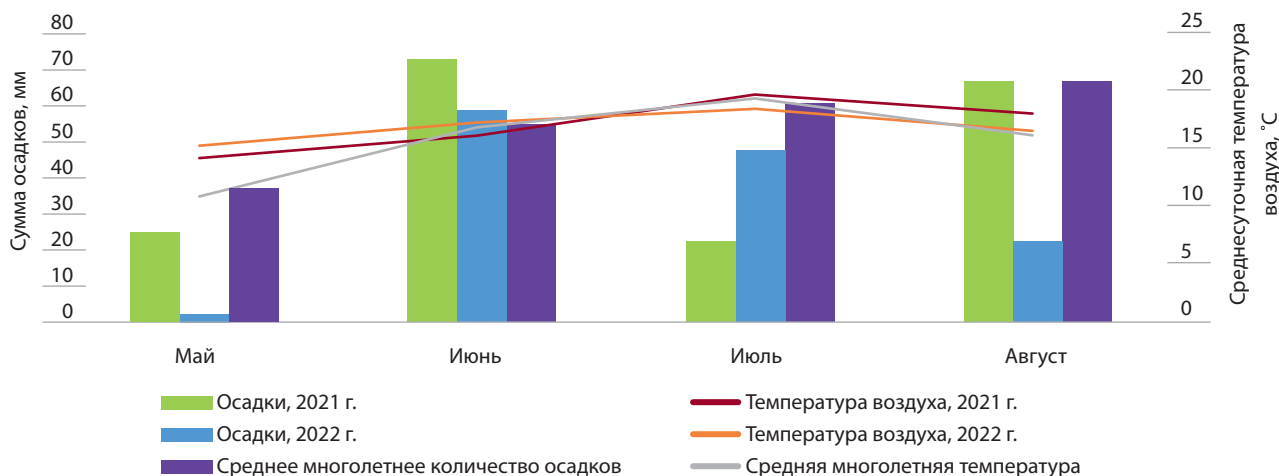


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха и количество осадков за 2021–2022 гг.

Fig. 1. Average daily air temperature and precipitation for 2021–2022

2004). Поражение пыльной головней допускается на уровне 0.3–0.5 %. Различают следующие степени поражения: 0.01–0.20 % – единичная (1 балл); 0.21–1.0 % – слабая (2 балла); 1.01–3.00 % – средняя (3 балла); 3.01 % и более – сильная (4 балла) (Шутко, Тутуржанс, 2018).

Математическую обработку полученных данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализов (Доспехов, 1979) с использованием Microsoft Office Excel 2013.

Погодные условия в 2021–2022 гг. были контрастными, о чем свидетельствуют данные сайта pogodaiklimat.ru¹. В мае 2021 г. наблюдалась сильная засуха, сопровождавшаяся жаркой погодой, – среднемесячная температура достигла 15.3 °C, в то время как среднемноголетнее значение по температуре воздуха составляет 10.9 °C (рис. 1). Температура воздуха в первой половине лета была на уровне среднемноголетних значений – 17.6 °C, но отличалась засушливостью. За II и III декады июля выпало всего 4.4 мм осадков. Это время критично для формирования и налива зерна. Засушливые явления в эту стадию могут привести к значительному снижению массы 1000 зерен (Nicolas et al., 1984). В течение всего августа сохранялась жаркая погода. Осадков в этот месяц выпало в пределах нормы, но стоит отметить, что более 54 % осадков пришлось на вторую декаду.

Вегетационный период 2022 г. был теплым и характеризовался низкой влагообеспеченностью – был слабо засушлив (ГТК = 0.66). При этом распределение осадков с мая по август было неравномерным: от сильной засухи в мае до оптимального увлажнения в июне. В июне отмечено достаточное увлажнение (ГТК = 1.22). Однако практически с самого начала первой декады и до середины второй практически не было осадков, что негативно отразилось на кушении. Температура воздуха в среднем за месяц была чуть выше среднемноголетнего значения. Влагообеспеченность июля, обычно характеризующегося обильными осадками,



Рис. 2. Распределение сортов и линий по группам спелости

Fig. 2. Distribution of varieties and lines according to maturity groups

была недостаточной (ГТК = 0.81). В целом месяц был жаркий и засушливый. Август также можно охарактеризовать как жаркий и засушливый. За весь месяц выпало всего 23 мм осадков, проявление гидротермических условий привело к средней засухе (ГТК = 0.45). Тем не менее погодные условия позволили растениям успешно и своевременно завершить вегетацию, при этом уборка проведена в сухую и теплую погоду.

Результаты

Продолжительность вегетационного периода зависит от зональных особенностей места проведения опыта, происхождения сорта и метеорологических условий в период вегетации растений (Никитина, 2019). За годы исследования продолжительность вегетационного периода в зависимости от погодных условий была нестабильна (рис. 2). В пер-

¹ Погода в Новосибирске. Погода и климат; 2021–2022 [обновлено 5 декабря 2022; процитировано 5 декабря 2022]. Доступно: <https://pogodaiklimat.ru>

вый год (2021 г.) длительность периода у изучаемых образцов составила 78–85 сут. Большинство генотипов созревали за 80–82 сут. В 2022 г. сорта и линии созревали преимущественно за 84 сут. и более (17 образцов), линии Лютесценс 1356 и Лютесценс 1364 – за 71 сут.

Двухфакторный дисперсионный анализ по урожайности зерна сортов и линий мягкой яровой пшеницы показал, что вклад изменчивости, вызванной влиянием погодных условий (годы), составляет 51.2 %, тогда как генотипическая изменчивость (сорт) и взаимодействие двух факторов составляют 15.7 и 5.2 % соответственно общего фенотипического варьирования признака (табл. 1). Вариансы, отражающие действие генотипических различий между образцами и влияние погодных условий (годы), оказались высоко достоверны.

В контрастные по метеорологическим условиям годы у сортов и линий набора КАСИБ-22 наблюдалось заметное колебание урожайности. В 2021 г. урожайность была в пределах от 35.2 (Лютесценс 2244) до 56.7 (Лютесценс 1462) ц/га, а в 2022 г. в связи с засушливыми условиями в начале вегетации, которые привели к снижению кущения и массы 1000 зерен, отмечено варьирование урожайности от 17.8 (Лютесценс 8-12-18) до 46.9 (Лютесценс 1486) ц/га (табл. 2). В 2021 г. среди стандартов в группе среднеранних и ранних наибольшая урожайность отмечена у международного стандарта Памяти Азиева – 44.0 ц/га, тогда как у местного стандарта показатель составил 40.0 ц/га. Хуже всех в сложившихся условиях в данной группе проявляли себя стандартный сорт Астана 2 (39.5 ц/га) и линия Лютесценс 2244 (35.2 ц/га). Достоверно превосходили в сложившихся метеорологических условиях стандартные сорта генотипы Лютесценс 8-12-18 (47.8 ц/га), Лютесценс 1356 (49.8 ц/га), Лютесценс 82/09-7 (48.6 ц/га), Ялуторовка (48.2 ц/га) и Агрономическая 5 (47.3 ц/га).

В 2021 г. в группе среднеспелых сортов наибольшая урожайность определена у местного стандарта Новосибирская 18 (51.4 ц/га). Урожайность у международного сорта (Саратовская 29) составила 42.0 ц/га, а достоверное превышение над этим стандартом наблюдалось у 7 образцов. Наибольшая урожайность отмечена у генотипов Линия Пт-311 (51.0 ц/га), Линия Чт-11 (49.0 ц/га) и Лютесценс 76-17 (49.4 ц/га). Сложившиеся погодные условия вегетации отрицательно сказались на урожайности среднепоздних сортов и линий: у 8 генотипов отмечена низкая урожайность, в том числе у стандартного сорта Терция (45.7 ц/га). Среди стандартов наибольшая урожайность выявлена у сорта Омская 35 (53.6 ц/га). Достоверное превышение урожайности над показателем стандартного сорта Омская 35 выявлено лишь у генотипа Лютесценс 1462 (56.7 ц/га). Также по данному хозяйственно ценному признаку выделились 9 генотипов (Линия 2/03-09-3, Лютесценс 77 201/09, KS 14/09-2, KS 60/09-9, KS 61/09-4, KS 285/12-1586, Лютесценс 1462, Лютесценс 1486, Лютесценс 136/10-1, Линия 161ae14), которые достоверно превосходили местный стандартный сорт Сибирская 12.

Отсутствие осадков в период «всходы–кущение» и низкий уровень запасов продуктивной влаги в почве перед по-

севом в 2022 г. существенно снизили урожайность сортов и линий. Для Новосибирской области важное значение имеют раннеспелые и среднеранние сорта (Лихенко и др., 2021). В группе раннеспелых и среднеранних достоверно высокая урожайность отмечена у линий Лютесценс 342/08 (33.1 ц/га), Лютесценс 1356 (34.3 ц/га) и Агрономическая 5 (33.5 ц/га). Несмотря на то что Лютесценс 1356 созрел всего за 71 сут., продуктивность данного сортообразца была высокой. Сильнее всего сложившиеся почвенно-климатические условия отразились на урожайности образца из Карабалыкской СХОС – Лютесценс 8-12-18, урожайность которого была минимальной, составив 17.8 ц/га. В группе среднеспелых наибольшая урожайность с достоверным превышением над стандартами отмечена у образцов Линия 198/225-2020 (30.4 ц/га), Линия Чт-11 (32.3 ц/га), Линия Пт-311 (33.7 ц/га), Пт-311 (33.7 ц/га) и Лютесценс 76-17 (30.5 ц/га). В питомнике КАСИБ-22 среднепоздние сорта играют важную роль, так как могут использовать поздние осадки периода вегетации, которые и позволяют данным сортам формировать высокую продуктивность. Среди стандартных сортов в данной группе спелости наибольшая урожайность отмечена у сорта Терция (30.1 ц/га), возможно, у которой относительно высокая растений по сравнению с другими стандартами этой группы спелости гомеостатическая реакция. Превышение по урожайности над стандартным сортом Терция отмечено у 8 генотипов. Наибольший интерес среди выделившихся генотипов представляет линия Лютесценс 1462, которая созрела на сутки раньше стандарта (89 сут.) и давала урожайность выше на 15.6 ц/га (45.7 ц/га). Наибольшая урожайность в данной группе спелости зарегистрирована у линии Лютесценс 1486 (Самарский НИИСХ) – 46.7 ц/га.

За два года изучения среди среднеранних и ранних сортов по урожайности выделились Лютесценс 342/08 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева), Лютесценс 1356 (ИЦиГ СО РАН), Ялуторовка (ГАУ Северного Зауралья), Агрономическая 5 (Омский ГАУ); среди среднеспелых – Линия 198/255-2020 (Актюбинская СХОС), Лютесценс 176/09 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева), Линия Чт-11 (Курганский НИИСХ), Линия Пт-235 (Курганский НИИСХ), Линия Пт-311 (Курганский НИИСХ), Лютесценс 76-17 (Омский ГАУ); среди среднепоздних и позднеспелых – Линия 2/03-09-3 (Павлодарская СХОС), KS 60/09-9 KS («Кургансемена»), 61/09-4 («Кургансемена»), KS 285/12-1586 («Кургансемена»), Лютесценс 1462 (Самарский НИИСХ), Лютесценс 1486 (Самарский НИИСХ), Линия 161ae14 (Самарский НИИСХ).

Болезни листьев влияют на взаимосвязь урожайности и компонентов урожая мягкой пшеницы. Результаты экспериментов показывают, что пораженность патогенами листьев изучаемых сортов в основном зависит от погодных условий. При благоприятных условиях для развития болезней наблюдалось увеличение поражения на 20–30 %. Мучнистая роса (*Erysiphe graminis* DC.) относится к числу наиболее распространенных болезней пшеницы. Ее вредоносность на посевах этой культуры составляет 35–40 % (Simeone et al., 2020). Начало распространения возбудителя мучнистой росы в оба года изучения отмечено в начале июля. Погодные условия (жаркая и влажная погода в июне) изучаемых лет были благоприятны для распространения возбудителя.

Таблица 1. Результаты дисперсионного анализа данных урожайности сортов и линий, изученных в опыте (2021–2022)
Table 1. The results of the variance analysis of data on the yield of cultivars and lines studied in the experiment (2021–2022)

Источник варьирования	Сумма квадратов (ss)	Степень свободы (df)	Средний квадрат (ms)	Критерий Фишера (F)	Доля влияния фактора, %
Общая	35,429.7	263	134.7	–	100
Годы (A)	18,216.9	1	18,216.9	326.4*	51.2
Сорт (B)	5552.8	43	129.1	2.3*	15.7
Взаимодействие A × B	1837.9	43	42.7	0.77	5.2
Случайные отклонения	9822.2	176	55.8	–	27.7

* $p < 0.05$

В 2021 г. в первой декаде июля выпало 18 мм осадков, что выше среднемноголетнего значения на 2 мм. Тогда как в начале июля в 2022 г. выпало 27 мм осадков. Примечательно, что погодные явления июня 2022 г. оказались весьма благоприятны для повышенного развития листостеблевых заболеваний пшеницы. Жаркая и влажная погода в июне привела к вспышке мучнистой росы (рис. 3, а).

Большинство сортов и линий в 2021 и 2022 гг. имели степень поражения 0–10 % (19 и 18 образцов) и 20–30 % (23 и 17 образцов) соответственно. Наиболее устойчивыми к патогену в оба года исследования оказались образцы Лютеценс 8-12-18, Линия Пт-311, KS 60/09-9, KS 61/09-4, KS 285/12-1586, Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Лютеценс 1489, Лютеценс 76-17, Лютеценс 82/09-7, Лютеценс 136/10-1, Лютеценс 71/10-4, Линия 1616ae14. В 2021 г. поражение мучнистой росой в 60 % отмечено у Лютеценса 176/09, у Династии – в 40 %. Поражение от 60 % и выше в 2022 г. наблюдалось у генотипов казахстанской селекции: Династия (60 %), Линия 198/225-2020 (60 %), Линия 205-2020 (80 %), Лютеценс 176/09 (60 %), Лютеценс 2244 (60 %), Лютеценс 2219 (60 %), Лютеценс 2223 (60 %), Линия 23/07 (80 %) и стандартный сорт Терция (60 %).

Листовая ржавчина (*Puccinia triticina* Erikss.) широко распространена в условиях Новосибирской области. Патоген известен во всех регионах возделывания культуры и приводит к ежегодным потерям урожая от 5–10 до 50–70 % (в годы эпифитотий) (Eversmeyer, Kramer, 2000). Условия первой половины вегетационного периода сложились благоприятными для распространения данного патогена на опытных полях в 2021 г. Особое значение для возбудителя имеет начало третьей декады июля. Популяризация патогена оценена в среднем как 20MR–60S (у 26 образцов) (см. рис. 3, б). Отсутствие заражения грибом *Puccinia tritici* E. наблюдалось у образцов Лютеценс 8-12-18, Терция, Линия Пт-235, Линия Пт-311, Лютеценс 1462, Лютеценс 1486, Лютеценс 1489, Агрономическая 5, Лютеценс 76-17 и Лютеценс 71/10-4. Линия 1616ae14 и Лютеценс 82/09-7 были практически устойчивы к возбудителю (0-10R). Распространение бурой ржавчины во второй год изучения у набора сортов и селекционных линий в условиях естественного фона также зафиксировано в третью декаду июля. Из-за значительного

поражения септориозом и отмирания существенной части листа поражение бурой ржавчиной было слабым и оценено как 0–30MR (у 39 образцов).

Устойчивость к *Puccinia tritici* E. в 2022 г. отмечена на тех же сортах и селекционных линиях, что и в 2021 г. Сильнее всего подвергались заражению данным патогеном в оба года изучения Лютеценс 176/09, Линия 435/12 и Лютеценс 77 201/09 – поражение у этих образцов оценено в 60S.

Среди листостеблевых болезней яровой пшеницы пыльную головню (*Ustilago tritici* (Pers.) Jens.) относят к одной из наиболее распространенных и опасных. На полях, где отсутствует контроль над ее распространением, потери урожая могут составлять до 10 %, а при возделывании высоковосприимчивых сортов – 40–50 % (Орлова, Бехтольд, 2019). Восприимчивыми к возбудителю пыльной головни в 2021 г. оказались Линия 43/94к-07-7 (1 балл поражения), Линия 2/03-09-3 (1 балл), Лютеценс 30 22/09 (2 балла), Лютеценс 8-12-18 (3 балла), Лютеценс 2244 (1 балл), Сибирская 12 (2 балла), Агрономическая 5 (1 балл), Лютеценс 71/10-4 (1 балл) и Линия 1616ae14 (1 балл) (см. рис. 3, в). Во второй год испытания набора КАСИБ-22 у 16 сортообразцов наблюдалось поражение пыльной головней: 9 образцов – единичное поражение, 6 образцов – слабое поражение, один сорт имел среднее поражение пыльной головней (3 балла). Также можно предположить, что в 2023 г. будет спровоцировано более высокое распространение пыльной головни, поскольку в фазу цветения пшеницы сложились благоприятные условия для патогена: теплая и достаточно влажная погода.

Корреляционный анализ показал наличие сильной связи между урожайностью и развитием листовых патогенов яровой пшеницы. Данные связи свидетельствуют о том, что благоприятное развитие патогена на листе отрицательно сказывается на формировании продуктивности растения яровой мягкой пшеницы. Наибольший урон отмечен в 2021 г. от поражения бурой ржавчиной ($r = -0.62$); в 2022 г. корреляция между урожайностью и бурой ржавчиной была слабой вследствие сложившихся погодных условий вегетации. Отмечена существенная обратная зависимость урожайности от поражения мучнистой росой (в 2021 г. $r = -0.47$, в 2022 г. $r = -0.42$).

Таблица 2. Средняя урожайность и продолжительность вегетационного периода генотипов питомника КАСИБ-22
Table 2. Average yield and duration of the growing season of the genotypes of the KASIB-22 nursery

Генотип	Происхождение	Вегетационный период, сут.	Урожайность, ц/га		
			2021 г.	2021 г.	2021–2022 гг.
Среднеранние и ранние сорта					
Астана 2 st.	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	78	39.5	28.3	33.9
Памяти Азиева st.	Омский АНЦ	80	44.0	27.7	35.9
Новосибирская 41 st.	ИЦиГ СО РАН	79	40.0	21.5	30.8
Лютесценс 342/08	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	79	44.0	33.1	38.6
Лютесценс 8-12-18	Карабалыкская СХОС	78	47.8	17.8	32.8
Лютесценс 2244	Карагандинская СХОС	78	35.2	20.1	27.7
Линия 23/07	Северо-Казахстанская СХОС	79	43.7	25.1	34.4
Лютесценс 1356*	ИЦиГ СО РАН	75	49.8	34.3	42.1
Лютесценс 1364**	ИЦиГ СО РАН	75	45.9	25.9	35.9
Лютесценс 82/09-7	Омский АНЦ	79	48.6	26.9	37.8
Ялуторвка	ГАУ Северного Зауралья	79	48.2	30.1	39.2
ГАУ-11-2016	ГАУ Северного Зауралья	79	42.5	27.8	35.2
Агрономическая 5	Омский ГАУ	85	47.3	33.5	40.4
Средняя по группе	–	78.7	44.3	27.1	35.7
НСР _{0.05}	–	1.7	2.2	1.9	2.1
Среднеспелые сорта					
Саратовская 29 st.	ФАНЦ Юго-Востока	79	42.0	27.4	34.7
Новосибирская 18 st.	ИЦиГ СО РАН	79	51.4	25.7	38.6
Линия 198/225-2020	Актюбинская СХОС	81	44.4	30.4	37.4
Линия 205-2020	Актюбинская СХОС	81	40.2	28.3	34.6
Лютесценс 176/09	НПЦЗХ им. А.И. Бараева	83	46.7	28.4	37.6
Линия 435/12	Северо-Казахстанская СХОС	81	47.4	24.7	36.1
Линия Чт-11	Курганский НИИСХ	81	49.0	32.3	40.7
Линия Пт-235	Курганский НИИСХ	80	47.6	30.4	39.0
Линия Пт-311	Курганский НИИСХ	81	51.0	33.7	42.4
Лютесценс 76-17	Омский ГАУ	81	49.4	30.5	40.0
Средняя по группе	–	80.5	46.7	29.0	37.8
НСР _{0.05}	–	0.6	2.2	2.5	2.4
Среднепоздние и поздние сорта					
Терция st.	Курганский НИИСХ	81	45.7	30.1	37.9
Омская 35 st.	Омский АНЦ	82	53.6	28.6	41.1
Сибирская 12 st.	ИЦиГ СО РАН	86	50.2	27.7	39.0
Династия	Актюбинская СХОС	83	39.7	24.3	32.0
Линия 43/94к-07-7	Павлодарская СХОС	86	39.5	35.9	37.7
Линия 2/03-09-3	Павлодарская СХОС	86	51.7	32.6	42.2
Лютесценс 77 201/09	Карабалыкская СХОС	87	47.9	28.8	38.4
Лютесценс 30 22/09	Карабалыкская СХОС	87	42.2	26.3	34.3
Лютесценс 2219	Карагандинская СХОС	83	41.7	22.7	32.2
Лютесценс 2223	Карагандинская СХОС	85	40.1	25.0	32.6
KS 14/09-2	«Кургансемена»	87	51.5	29.5	40.5
KS 60/09-9	«Кургансемена»	85	51.6	31.5	41.6
KS 61/09-4	«Кургансемена»	86	51.2	39.7	45.5
KS 285/12-1586	«Кургансемена»	87	49.8	35.6	42.7
Лютесценс 1462	Самарский НИИСХ	87	56.7	45.7	51.2
Лютесценс 1486	Самарский НИИСХ	90	52.4	46.9	49.7
Лютесценс 1489	Самарский НИИСХ	87	42.3	37.5	39.9
Лютесценс 136/10-1	Омский АНЦ	85	50.8	29.3	40.1
Лютесценс 71/10-4	Омский АНЦ	86	51.2	25.3	38.3
Челябинка	Челябинский НИИСХ	82	45.5	36.1	40.8
Линия 1616ae14	Самарский НИИСХ	88	53.6	34.4	44.0
Средняя по группе	–	85.6	50.5	34.6	42.5
НСР _{0.05}	–	1.5	1.7	2.1	1.9

* сорт Загора Новосибирская, передан на государственное сортоиспытание с 2022 г.; ** сорт Суенга, передан на государственное сортоиспытание с 2022 г.

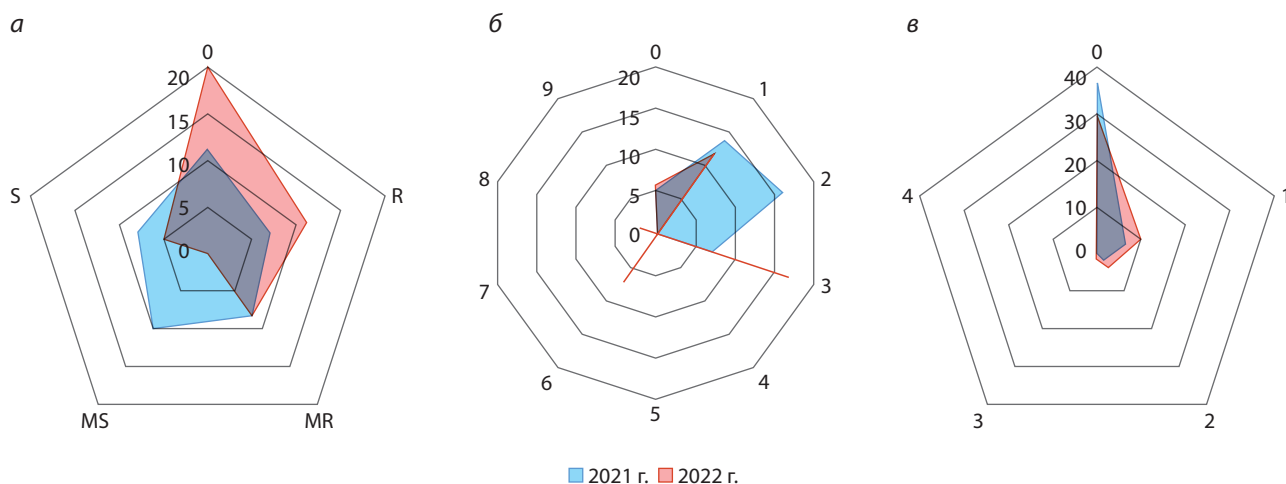


Рис. 3. Поражение набора сортов питомника КАСИБ-22 основными фитопатогенами: а – бурой ржавчиной; б – мучнистой росой; в – пыльной головней

Fig. 3. Infection of a set of varieties of the KASIB-22 nursery with the main phytopathogens: a, leaf rust; b, powdery mildew; c, dusty smut

Обсуждение

Одно из приоритетных направлений селекционных программ яровой мягкой пшеницы – создание селекционного материала с длительной устойчивостью к комплексу патогенов. Генетическое разнообразие российских и казахстанских форм из питомника КАСИБ позволяет получать формы с групповой устойчивостью к основным заболеваниям яровой мягкой пшеницы, так как чем больше источников устойчивости объединено в генотипе, тем больше возможностей получить устойчивые формы. Проведенные Научно-исследовательским институтом проблем биологической безопасности исследования на территории Казахстана в 2021 г. показали, что наиболее устойчивыми к бурой ржавчине следует считать следующие генотипы из набора КАСИБ-22: Династия, Линия 198/225-2020, Лютеценс 30 22/09, Лютеценс 2244, Линия Пт-235, KS 14/09-2, KS 285/12-1586, Лютеценс 1356, Лютеценс 1364, Агрономическая 5, Лютеценс 136/10-1, Лютеценс 71/10-4, ГАУ-11-2016, Челябинка и Линия 1616ae14 (Ысқақова и др., 2021). На территории Новосибирской области большинство этих сортов имели среднюю степень поражения данным патогеном (20MR-40MS), лишь сортообразцы Линия Пт-235, Агрономическая 5, Лютеценс 71/10-4 характеризовались как устойчивые.

Сортообразец Лютеценс 82/09-7 с относительной устойчивостью к новосибирской популяции возбудителя бурой ржавчины также проявлял высокую устойчивость к омской, красноярской и челябинской популяциям (Белан и др., 2017). Линия 1616ae14 имела относительную устойчивость к новосибирской популяции бурой ржавчины. В исследованиях Е.И. Гультяевой и коллег (2019) эта линия продемонстрировала высокий уровень устойчивости к возбудителю в фазе проростков за счет наличия генов *Lr19* и *Lr26*. Линии Лютеценс 136/10-1 и Лютеценс 82/09-1, обладающие комплексной устойчивостью к новосибирским популяциям возбудителей листостебельных патогенов, в условиях Омской области зарекомендовали себя как высокоурожайные и устойчивые к листовым заболеваниям, благодаря чему пе-

реданы на государственное сортоиспытание РФ под названиями Омская крепость и Омская 45² соответственно (Белан и др., 2021).

Заключение

В результате оценки 44 генотипов российской и казахстанской селекции в условиях Приобья Новосибирской области в 2021–2022 гг. выделены сорта и селекционные линии с высокой устойчивостью к листовым болезням и пыльной головне. Комплексная устойчивость к этим патогенам отмечена у образцов Линия Пт-235 и Линия Пт-311 (Курганский НИИСХ); Лютеценс 1462, Лютеценс 1486 и Лютеценс 1489 (Самарский НИИСХ); Лютеценс 76-17 (Омский ГАУ). Средняя устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе, поражение возбудителем которой не превышало 20–30 %, наблюдалась у генотипов Линия 2/03-09-3, KS 14/09-2, KS 61/09-4, KS 285/12-1586, Лютеценс 1364, Агрономическая 5 и Лютеценс 71/10-4. Наибольшее распространение основных листовых заболеваний обнаружено у сортообразцов из Казахстана – Лютеценс 176/09 (НПЦЗХ им. А.И. Бараева) и Лютеценс 2223 (Карагандинская СХОС), пыльной головни – у Лютеценса 8-12-18 (Карабалыкская СХОС).

Наиболее благоприятные условия для формирования продуктивного колоса яровой мягкой пшеницы сложились в первый год изучения набора КАСИБ-22. Урожайность сортов и линий варьировала от 35.2 до 56.7 ц/га. В 2022 г. тенденция заметно поменялась: урожайность сортообразцов составила 17.8–46.7 ц/га. Наибольший интерес за годы изучения набора по средней урожайности представляют среди ранних сортообразцы Лютеценс 342/08 (38.6 ц/га), Лютеценс 1356 (42.1 ц/га), Ялуторовка (39.2 ц/га), Агрономическая 5 (40.4 ц/га); среди среднеспелых – Линия 198/225-2020 (37.4 ц/га), Лютеценс 176/09 (37.6 ц/га), Линия Чт-11 (40.7 ц/га), Линия Пт-235 (39.0 ц/га), Линия Пт-311 (42.4 ц/га),

² Официальный бюллетень № 10 (260). ФГБУ «Госсорткомиссия»; 2023 [обновлено 02 января 2023; процитировано 02 января 2023]. Доступно: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2021/04/260.pdf>

Лютесценс 76-17 (40.0 ц/га); среди среднепоздних и позднеспелых – Линия 2/03-09-3 (42.2 ц/га), KS 60/09-9 (41.6 ц/га), KS 61/09-4 (45.5 ц/га), KS 285/12-1586 (42.7 ц/га), Лютесценс 1462 (51.2 ц/га), Лютесценс 1486 (49.7 ц/га), Линия 1616ae14 (44.0 ц/га).

Выделены продуктивные селекционные линии с высокой и средней устойчивостью к бурой ржавчине, мучнистой росе и пыльной головне: Линия Пт-311, Лютесценс 1462, Лютесценс 1486, Лютесценс 1356, Линия 1616ae14. Образцы из питомника КАСИБ-22 позволяют расширить генетическое разнообразие яровой мягкой пшеницы благодаря отбору наиболее устойчивых к местным популяциям возбудителей форм *Puccinia tritici* E., *Erysiphe graminis* DC. и *Ustilago tritici* (Pers.) Jensen.

Список литературы / References

- Белан И.А., Россеева Л.П., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Першина Л.А., Трубачеева Н.В. Создание сортов мягкой пшеницы, устойчивых к грибным заболеваниям, для условий Западной Сибири и Урала. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017;1(147):5-14. DOI 10.30906/1999-5636-2020-6-3-8. [Belan I.A., Rosseeva L.P., Meshkova L.V., Blokhina N.P., Pershina L.A., Trubacheeva N.V. Development of soft wheat varieties resistant to fungal diseases for West Siberia and the Urals. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2017;1(147):5-14. DOI 10.30906/1999-5636-2020-6-3-8. (in Russian)]
- Белан И.А., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Григорьев Ю.П., Мухина Я.В., Трубачеева Н.В., Першина Л.А. Ресурсный потенциал сортов пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(4):449-465. DOI 10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465. [Belan I.A., Rosseeva L.P., Blokhina N.P., Grigoriev Yu.P., Mukhina Y.V., Trubacheeva N.V., Pershina L.A. Resource potential of soft spring wheat varieties for the conditions of Western Siberia and Omsk region (analytical review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2021; 22(4):449-465. DOI 10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465. (in Russian)]
- Доброзрак Т.Л. Сельскохозяйственная фитопатология. Л.: Колос, 1974. [Dobrozrakova T.L. Agricultural phytopathology. Leningrad: Kolos Publ., 1974. (in Russian)]
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979:242-356. [Dospikhov B.A. Methods of field experience. Moscow: Kolos Publ., 1979:242-356. (in Russian)]
- Койшыбаев М., Муминджанов Х. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), 2016. [Koishybaev M., Mumindzhanov H. Methodological guidelines for monitoring diseases, pests and weeds on grain crops. Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. (in Russian)]
- Койшыбаев М. Болезни пшеницы. Анкара: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), 2018:3-42. [Koishybaev M. Diseases of wheat. Ankara: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2018:3-42. (in Russian)]
- Леонтьев С.И. Основные параметры моделей сортов яровой пшеницы интенсивного типа для степи и южной лесостепи Западной Сибири. Омск: ОмСХИ, 1980. [Leontiev S.I. The main parameters of models of spring wheat varieties of intensive type for the steppe and southern forest-steppe of Western Siberia. Omsk: OmSKHI Publ., 1980. (in Russian)]
- Лихенко И.Е., Советов В.В., Артемова Г.В., Агеева Е.В., Капко Т.Н. Результаты селекции яровой мягкой пшеницы в СибНИИРС – филиале ИЦиГ СО РАН. *Достижения науки и техники АПК*. 2021; 35(10):5-10. DOI 10.53859/02352451_2021_35_10_5. [Lihenko I.E., Sovetov V.V., Artemova G.V., Ageeva E.V., Kapko T.N. Results of breeding spring common wheat at the Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2021;35(10):5-10. DOI 10.53859/02352451_2021_35_10_5. (in Russian)]
- Никитина В.И. Зависимость продолжительности вегетационного периода сортов яровой мягкой пшеницы от пункта возделывания. *Вестник КрасГАУ*. 2019;5(146):43-49. [Nikitina V.I. The dependence of the duration of vegetation period of spring soft wheat from the place of its cultivation. *Bulletin of KrasSAU*. 2019;5(146):43-49. (in Russian)]
- Орлова Е.А., Бехтольд Н.П. Характеристика генофонда яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к пыльной головне в условиях лесостепи Западной Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524. [Orlova E.A., Baechtold N.P. Characteristics of the gene pool of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for resistance to loose smut in the forest-steppe of Western Siberia. *Vavilovskiy Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(5):551-558. DOI 10.18699/VJ19.524. (in Russian)]
- Сергеева И.В., Гусакова Н.Н., Андриянова Ю.М., Мохонок Ю.М. Совершенствование технологий возделывания яровой пшеницы для устойчивого развития сельского хозяйства Поволжского региона. *Аграрный научный журнал*. 2020;10:59-65. DOI 10.28983/asj.y2020i10pp59-65. [Sergeeva I.V., Gusakova N.N., Andryanova Y.M., Mokhonko Y.M. Improvement of spring wheat cultivation technologies for sustainable development of agriculture in the Volga region. *The Agrarian Scientific Journal*. 2020;10:59-65. DOI 10.28983/asj.y2020i10pp 59-65. (in Russian)]
- Танский В.И., Долженко В.И., Гончаров Н.Р., Ишкова Т.И. Защита зерновых культур от вредителей, болезней и сорняков в Нечерноземной зоне России. СПб.: ВИЗР, 2004. [Tansky V.I., Dolzhenko V.I., Goncharov N.R., Ishkova T.I. Protection of grain crops from pests, diseases and weeds in the Non-Chernozem zone of Russia. St. Petersburg: VIZR Publ., 2004. (in Russian)]
- Шаманин В.П., Потоцкая И.В. Иммунологическая оценка сортов яровой мягкой пшеницы селекционного питомника КАСИБ. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016;2(22): 5-10. [Shamanin V.P., Pototskaya I.V. Immunological assessment of varieties of spring soft wheat of the KASIB breeding nursery. *Bulletin of the Omsk State Agrarian University*. 2016;2(22):5-10. (in Russian)]
- Шаманин В.П., Чурсин А.С. Оценка сортов и линий Казахстано-Сибирского питомника и создание исходного материала для селекции в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2008; 1(49): 11-16. [Shamanin V.P., Chursin A.S. Evaluation of varieties and lines of Kazakhstan-Siberian seed plot and creation of base line for selection in the conditions of southern forest steppe in West Siberia. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2008;1(49):11-16. (in Russian)]
- Шутко А.П., Тутуржанс Л.В. Фитосанитарная диагностика болезней растений. Ставрополь: АГРУС, 2018. [Shutko A.P., Tuturzhan L.V. Phytosanitary diagnostics of plant diseases. Stavropol: AGRUS Publ., 2018. (in Russian)]
- Ысқақова Г.Ш., Мәуленбай А.Д., Курымбаева Н.Д., Асрабаева А.М., Байгутов М.Ж., Рсалиев А.С. Устойчивость новых сортообразцов яровой мягкой и твердой пшеницы к листовостебельным болезням. *Биобезопасность и Биотехнология*. 2021;8:55-62. [Iskakova G.Sh., Maulenbay A.D., Kurymbaeva N.D., Asraubaeva A.M., Baygutov M.J., Rsaliev A.S. Resistance of new varieties of spring bread and durum wheat to foliar and stem diseases. *Biosafety and Biotechnology*. 2021;8:55-62. (in Russian)]
- Eversmeyer M.G., Kramer C.L. Epidemiology of wheat leaf and stem rust in the Central Great Plains of the USA. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2000; 38:491-513. DOI 10.1146/annurev.phyto.38.1.491.
- Gulyaeva E., Shaydayuk E., Rsaliev A. Identification of leaf rust resistance genes in spring soft wheat samples developed in Russia and

- Kazakhstan. *Plant Prot. News*. 2019;3:41-49. DOI 10.31993/2308-6459-2019-3(101)-41-49.
- Magomedov I.A., Dzhabrailov Z.A., Bagov M.A. Subsistence agriculture and Global Warming. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2021;677: 032109. DOI 10.1088/1755-1315/677/3/032109.
- Morgounov A., Pozherukova V., Kolmer J., Gulyaeva E., Abugalieva A., Chudinov V., Kuzmin O., Rasheed A., Rsybmetov A., Shepelev S., Ydyrys A., Yessimbekova M., Shamanin V. Genetic basis of spring wheat resistance to leaf rust (*Puccinia triticina*) in Kazakhstan and Russia. *Euphytica*. 2020;216:170. DOI 10.1007/s10681-020-02701-y.
- Morgounov A., Rosseeva L., Koyshibayev M. Leaf rust of spring wheat in Northern Kazakhstan and Siberia: incidence, virulence, and breeding for resistance. *Aust. J. Agric. Res.* 2007;58(9):847-853. DOI 10.1071/AR07086.
- Morgounov A., Savin T., Flis P., Babkenov A., Chudinov V., Kazak A., Koksels H., Likhenko I., Sharma R., Shelaeva T., Shepelev S., Shreyder E., Shamanin V. Effects of environments and cultivars on grain ionome of spring wheat grown in Kazakhstan and Russia. *Crop Pasture Sci.* 2022;73(5):515-527. DOI 10.1071/CP21493.
- Nicolas M.E., Gleadow R., Dalling M.J. Effects of drought and high temperature on grain growth in wheat. *Aust. J. Plant Physiol.* 1984;11(6): 553-566. DOI 10.1071/PP9840553.
- Simeone R., Piarulli L., Nigro D., Signorile M.A., Blanco E., Mangini G., Blanco A. Mapping powdery mildew (*Blumeria graminis f. sp. tritici*) resistance in wild and cultivated tetraploid wheats. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(21):7910. DOI 10.3390/ijms21217910.
- Soroush F., Ehteram M., Seifi A. Uncertainty and spatial analysis in wheat yield prediction based on robust inclusive multiple models. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022. DOI 10.1007/s11356-022-23653-x.
- Vannoppen A., Gobin A. Estimating farm wheat yields from NDVI and meteorological data. *Agronomy*. 2021;11(5):946. DOI 10.3390/agronomy11050946.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 19.01.2023. После доработки 06.02.2023. Принята к публикации 08.02.2023.

pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-05

Краткое сообщение

Новый сорт яровой мягкой пшеницы Баганочка

Б.Ф. Немцев¹, А.Б. Немцев², Р.И. Полюдина³, С.В. Куркова³

Аннотация: Яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – основная зерновая культура Западно-Сибирского региона. В статье описан новый сорт яровой мягкой пшеницы Баганочка. С 2023 г. сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию по Западно-Сибирскому (десятому) региону. Достоинства нового сорта: высокая урожайность, стекловидность, устойчивость к неблагоприятным условиям произрастания, принадлежность к сильным пшеницам.

Ключевые слова: селекция; новый сорт; яровая мягкая пшеница; Баганочка; продуктивность.

Благодарности: Работа поддержана бюджетным проектом ИЦиГ СО РАН № FWNR-2022-0017.

Для цитирования: Немцев Б.Ф., Немцев А.Б., Полюдина Р.И., Куркова С.В. Новый сорт яровой мягкой пшеницы Баганочка. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(1):30-34. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-05

Short message

New cultivar of spring common wheat Baganochka

B.F. Nemtsev¹, A.B. Nemtsev², R.I. Poluydina³, S.V. Kurkova³

Abstract: Spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) is the main cereal crop of the West Siberian region of the Russian Federation. The article describes new commercial cultivars of spring common wheat Baganochka. The Baganochka has been included in the State Register of Breeding Achievements approved for use in the West Siberian (10th) region since 2023. The advantages of the new cultivars are high yield, vitreousness, resistance to environmental conditions, reference to strong grain wheat.

Key words: breeding; new commercial cultivar; spring common wheat; Baganochka; productivity.

Acknowledgements: The work was supported by the Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, project No. FWNR-2022-0017.

For citation: Nemtsev B.F., Nemtsev A.B., Poluydina R.I., Kurkova S.V. New cultivar of spring common wheat Baganochka. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(1):30-34. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-05 (in Russian)

В селекционных программах Сибири при создании стрессоустойчивых, продуктивных и высококачественных сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с целью расширения генетического разнообразия имеет значение использование доноров, относящихся ко вторичному пулу генов (Гончаров, 2021; Белан и др., 2022). В результате сложной межвидовой гибридизации (i:BS1E *T. dicoccum* Schrank ex Schuebl. × #668 *T. durum* Desf. × сорт Новосибирская 29 *T. aestivum* L.) с последующим индивидуальным и массовым позитивным отбором в течение 11 поколений создан среднеранний уро-

жайный сорт Баганочка, устойчивый к засухе, полеганию и умеренно устойчивый к пыльной головне. Разновидность (var.) *albidum* Al. Яровой тип развития сорта контролируется наиболее распространенными в регионе доминантными аллелями генов *Vrn* (Смоленская и др., 2022). Сорт создан сотрудниками ИЦиГ СО РАН (Новосибирск) и СФНЦА РАН (р.п. Краснообск, НСО).

Высота растений сорта Баганочка в среднем 74 см (рис. 1), стебель прочный, полый, толстый, устойчивый к полеганию. Форма куста прямостоячая. Колос белый, цилиндрический

¹ Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал Федерального исследовательского центра Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия
Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding – Branch of the Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

² Федеральный исследовательский центр Института цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия
Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³ Сибирский научно-исследовательский институт кормов – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Россия
Siberian Research Institute of Fodder Crops – Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnology of the Russian Academy of Science, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

nembor@yandex.ru

© Немцев Б.Ф., Немцев А.Б., Полюдина Р.И., Куркова С.В., 2023

(рис. 2), средней длины (7.5 см), средней плотности ($D = 2.0$)¹, число колосков в колосе 16. Осыпаемость и ломкость колоса отсутствуют. Листья широкие, темно-зеленые, слабо опушенные, со слабым восковым налетом. Колосковая чешуя в средней трети колоса овальноланцетная, длиной 8–10 мм, шириной 3–4 мм, нервация выражена слабо. Колосковая чешуя: зубец прямой, плечо прямое средней величины, киль выражен сильно. Колос безостый, верхняя часть колоса несет остевидные грубые отростки длиной 0.5–0.6 см, белой окраски. Зерно средней крупности (рис. 3), основание зерна опушенное, форма полуудлиненная, окраска белая, бороздка неглубокая. Масса 1000 зерен 35 г, близка к средней по региону (Москаленко, 2007; Пискарев и др., 2017). Содержание белка в зерне 17 %, клейковины – 29.5 %, стекловидность – 53 %. Качество зерна на уровне сильной пшеницы.

Морфологические особенности сорта, позволяющие отличать его от других сортов: стебель прочный, толстый; флаговый лист прямостоячий, широкий, темно-зеленый со слабым восковым налетом; колос, поникающий при созревании; зерно белое, стекловидное. Урожай зерна по данным экологического испытания составил 3.54 т/га, у стандарта сорта Омская 36 – 3.00 т/га, что выше на 0.54 т/га. На Баганском госсортоучастке урожайность зерна в среднем составила 2.54 т/га, у стандарта Омская 36 – 2.23 ц/га, что выше на 0.31 т/га (см. таблицу).

Особенности сортовой технологии возделывания: посев в оптимальные сроки, глубина заделки семян до 7 см, сорт плохо переносит загущение и глубокую (10 см и более) заделку семян. Оптимальный тип почв: серые, светло-серые, темно-серые, оподзоленные, черноземные. Нормы высева семян – 5.0–6.0 млн/га. Сорт пригоден для возделывания по общепринятой технологии в условиях Западной Сибири по десятому региону (Государственный реестр..., 2023) – степь и лесостепь; отвечает требованиям механизированной уборки и подработки зерна. Сочетает оптимальную для зоны степи и лесостепи длину вегетационного периода (Смоленская и др., 2022), характеризуется высокой засухоустойчивостью и продуктивностью. Семеноводство осуществляли по общепринятой схеме. Предпочтительные зоны семеноводства – южная лесостепь и степь Западной Сибири.

Учреждения-оригинаторы: Сибирский научно-исследовательский институт кормов – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук (р.п. Краснообск, Новосибирская область), Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук (Новосибирск)

Авторы сорта: С.В. Куркова, Н.И. Кашеваров, Р.И. Полюдина, Н.П. Гончаров, Б.Ф. Немцев, А.Б. Немцев, Е.А. Орлова, Л.П. Сочалова, Н.И. Стёпочкина

¹ Плотность колоса D рассчитывали по формуле: $D = [(A-1) \times 10] / B$, где $(A-1)$ – число колосков в колосе без верхушечного колоска; B – длина стержня колоса (Фляксбергер, 1935).



Рис. 1. Растения сорта яровой мягкой пшеницы Бaganochka
Fig. 1. Plants of spring common wheat cultivar Baganochka



Рис. 2. Колосовая чешуя (1), колосок (2) и колос (3 – лицевая, 4 – боковая стороны) сорта яровой мягкой пшеницы Баганочка
Fig. 2. Outer glume (1), spikelet (2), and spike (3, front, 4, side) of spring common wheat cultivar Baganochka



Рис. 3. Зерно сорта яровой мягкой пшеницы Баганочка
Fig. 3. Grains of spring common wheat cultivar Baganochka

Хозяйственные и биологические свойства сорта Баганочка
Agronomical and biological traits of cultivar Baganochka

Показатель	Баганочка, год урожая				Среднее	Омская 36 (стандарт), год урожая			Среднее
	2017	2018	2019			2017	2018	2019	
Урожай зерна по данным оригинатора (при стандартной влажности), т/га	2.17	3.44	2.02	2.54		1.83	3.09	1.77	2.23
Урожай зерна исходного или лучшего сорта этого учреждения, переданного в государственное испытание (Баганская 95)*, т/га	1.50	2.84	1.78	2.04					
HCP ₀₅	0.16	0.13	0.11	0.12		0.16	0.13	0.11	0.12
Урожай зерна по данным экологического испытания (СибНИИРС – филиал ИЦиГ СО РАН), т/га	3.15	3.85	3.61	3.54		2.73	3.32	2.94	3.00
HCP ₀₅	0.28	0.24	0.25	0.26		0.28	0.24	0.25	0.26
Натура зерна, г/л	762	782	774	773		759	772	768	766
Масса 1000 зерен, г	36.4	38.2	30.5	35.0		34.8	39.3	31.8	35.3
То же исходного или лучшего испытываемого сорта, г	39.2	40.6	31.8	37.2					
Стекловидность, %	50	52	57	53		50	50	53	51
Содержание сырой клейковины, %	31.0	29.0	28.4	29.5		28.2	28.0	27.3	27.8
То же исходного или лучшего испытываемого сорта, %	25.8	27.0	24.4	25.7					
Содержание сырого протеина, %	16.8	17.2	–	17.0		16.0	16.5	–	16.3
То же исходного или лучшего испытываемого сорта, %	11.7	12.3	–	12.0					
Показатель альвеографа (W), е.а.	589	600	428	539		511	649	403	521
То же исходного или лучшего испытываемого сорта, е.а.	318	370	280	323					
Объемный выход хлеба без добавок*, мл	760	765	740	755		760	756	720	745
Общая оценка качества, балл	4.3	4.4	4.0	4.2		4.1	4.2	3.7	4.0
То же исходного или лучшего испытываемого сорта, балл	4.0	3.8	3.5	3.8					

Примечание. HCP₀₅ – наименьшая средняя разность на 5 % уровне значимости. * Сравнение с исходным (во всех случаях выведения сорта методами массового или индивидуального отбора и улучшения сорта), а также лучшим сортом селекции этого учреждения, переданным в испытание.

Список литературы / References

- Белан И.А., Россеева Л.П., Блохина Н.П., Григорьев Ю.П., Мухина Я.В., Трубачеева Н.В., Першина Л.А. Ресурсный потенциал сортов пшеницы мягкой яровой для условий Западной Сибири и Омской области (аналитический обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(4):449-465. DOI 10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465.
- [Belan I.A., Rosseeva L.P., Blokhina N.P., Grigoriev Y.P., Mukhina Y.V., Trubacheeva N.V., Pershina L.A. The resource potential of soft spring wheat varieties in West Siberia and the Omsk region (analytical review). *Agrarnaya Nauka Euro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(4):449-465. DOI 10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465. (in Russian)]
- Гончаров Н.П. Научное обеспечение селекции и семеноводства Сибири в XXI веке. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(4):448-459. DOI 10.18699/VJ21.050.
- [Goncharov N.P. Scientific support to plant breeding and seed production in Siberia in the XXI century. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(4):448-459. DOI 10.18699/VJ21.050. (in Russian)]

- Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М.: Росинформагротех, 2023.
- [State Register of Selection Achievements Authorized for Use for Production Purposes. Vol. 1. Plant Varieties. Moscow: Rosinformagrotekh Publ., 2023. (in Russian)]
- Москаленко В.М. Изменчивость и наследование массы зерна колоса и растения у эколого-отдаленных гибридов мягкой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2007;6:111-113.
- [Moskalenko V.M. Variation and inheritance of productivity elements of the ear and plant in ecologically distant hybrids of spring soft wheat under conditions of West Siberia and North Kazakhstan. *Sibirskiy Vestnik Selskokhozyaystvennoy Nauki = Siberian Herald of Agricultural Sciences*. 2007;6:111-113. (in Russian)]
- Пискарев В.В., Тимофеев А.А., Бойко Н.И. Крупность зерна пшеницы мягкой яровой: особенности формирования и генетический контроль в условиях Западной Сибири. *Достижения науки и техники АПК*. 2017;31(9):16-21.

- [Piskarev V.V., Timofeev A.A., Wojko N.I. Fineness of soft spring wheat grain: peculiarities of formation and genetic control under conditions of Western Siberia. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2017;31(9):16-21. (in Russian)]
- Смоленская С.Э., Ефимов В.М., Кручинина Ю.В., Немцев Б.Ф., Чепурнов Г.Ю., Овчинникова Е.С., Белан И.А., Зуев Е.В., Чэньси Ч., Пискарев В.В., Гончаров Н.П. скороспелость и морфотип сортов мягкой пшеницы Западной и Восточной Сибири. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(7):662-674. DOI 10.18699/VJGB-22-81. [Smolenskaya S.E., Efimov V.M., Kruchinina Yu.V., Nemtsev B.F., Chepurnov G.Yu., Ovchinnikova E.S., Belan I.A., Zuev E.V., Chenxi Z., Piskarev V.V., Goncharov N.P. Earliness and morphotypes of common wheat cultivars of Western and Eastern Siberia. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022; 26(7):662-674. DOI 10.18699/VJGB-22-81. (in Russian)]
- Фляксбергер К.А. Пшеницы – род *Triticum* L. пр. р. В: Культурная флора СССР. Т. 1. Хлебные злаки – пшеница. М.; Л.: Сельхозгиз, 1935; 19-434.
- [Flaksberger K.A. Wheat – the genus *Triticum* L. pr. p. In: Cultural Flora of the USSR. Vol. 1. Cereals – Wheat. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz Publ., 1935;19-434. (in Russian)]

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.01.2023. После доработки 06.02.2023. Принята к публикации 08.02.2023.

 pismavavilov.ru

DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-06

Обзор

Рецензия на монографию О.А. Ляпуновой «Внутривидовое разнообразие твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.)»

И.Г. Лоскутов✉

Для цитирования: Лоскутов И.Г. Рецензия на монографию О.А. Ляпуновой «Внутривидовое разнообразие твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.)». *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2023;9(1):35-37. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-06

Review

Review of Olga A. Lyapunova's monograph “Intraspecific diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.)”

I.G. Loskutov✉

For citation: Loskutov I.G. Review of Olga A. Lyapunova's monograph “Intraspecific diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.)”. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2023;9(1):35-37. DOI 10.18699/LettersVJ-2023-9-06 (in Russian)

Монография «Внутривидовое разнообразие твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.)» (Ляпунова, 2022) знакомит читателя с внутривидовой классификацией твердой пшеницы *Triticum durum* Desf., разработанной во Всероссийском институте генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР), и ее упрощенным аналогом, опубликованным ранее (Ляпунова, 2021). Классификация основана на системе рода *Triticum* L., созданной коллективом ученых под руководством известного тритиколога Владимира Филимоновича Дорофеева (Чикида, 2020) в отделе пшеницы ВИР и опубликованной в «Культурной флоре СССР. Т. 1. Пшеница» (Дорофеев и др., 1979). Это первая стандартизированная система, содержащая все описанные на тот момент внутривидовые (инфраспецифические) таксоны диких и культурных видов пшеницы. Однако данная монография и сопутствующий ей «Определитель пшениц» (Дорофеев и др., 1980) не переиздавались уже более 40 лет, что затрудняет применение этой системы среди селекционеров и других исследователей пшеницы. В силу ряда причин книга не была переведена, что создает языковые трудности при знакомстве с

классификацией в зарубежных генетических банках семян. Работа, изданная на хорошем английском языке, несомненно, восполняет эти моменты в части внутривидового состава твердой пшеницы.

Введение знакомит с историей классификации рода *Triticum* L. начиная с К. Линнея (Linnaeus, 1737) – автора рода Пшеница. Далее классификацией занимались такие известные тритикологи, как А. Thellung (1918), J. Percival (1921), С. Невский (1934), К.А. Фляксберггер (1935), М.М. Jakubziner (1958), W.M. Bowden (1959), R. Morris и E.R. Sears (1967). В настоящее время наиболее часто используют семь классификаций рода *Triticum* L., авторами которых выступают В.Ф. Дорофеев и др. (1979), П.А. Гандилян (1980), А. Löve (1984), G. Kimber and E.R. Sears (1987), G. Kimber и M. Feldman (1987), J. Mac Key (1988), M.W. van Slageren (1994). В этот ряд следует добавить и классификацию Н.П. Гончарова, построенную на использовании сравнительно-генетического подхода и являющуюся следствием работ предшественников (Гончаров, 2002, 2009; Goncharov 2005, 2011). Система рода *Triticum* В.Ф. Дорофеева с сотрудниками (1979) основана на исследо-

ваниях таких триктологов, как F. Körnicke (1885) и J. Percival (1921), переработанных и дополненных Н.И. Вавиловым (1935) и К.А. Фляксбергером (Фляксбергер, 1935; Фляксбергер и др., 1939).

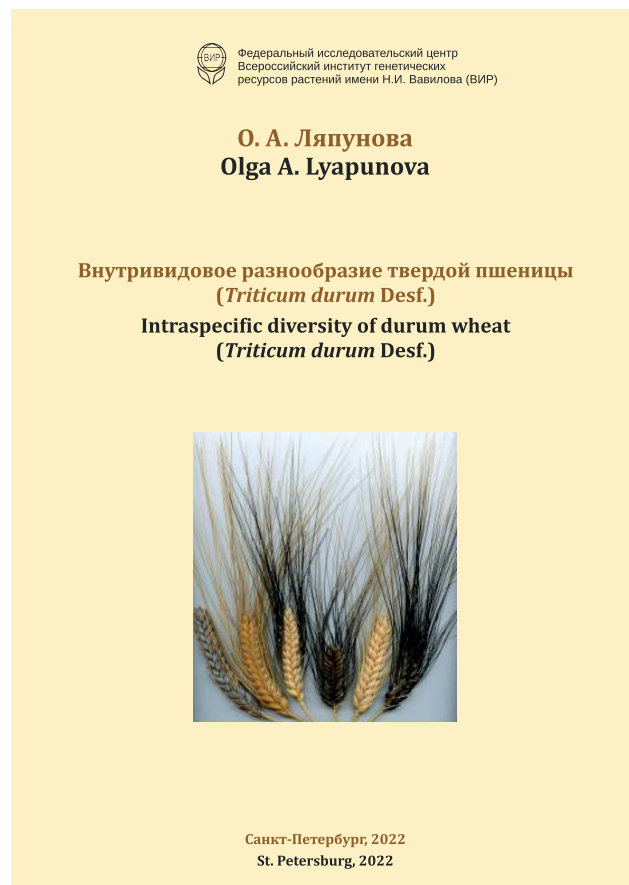
Во введении О.А. Ляпунова обосновывает необходимость создания унифицированной внутривидовой классификации твердой пшеницы для сокращения разнообразия наименований разновидностей путем комбинирования нескольких характеристик, что значительно упростит использование классификации. Такой способ описания таксонов и быстрого запоминания внутривидового разнообразия ранее предложен для мягкой пшеницы (Зуев и др., 2013, 2019).

Раздел «Иллюстрированный определитель внутривидовых таксонов *Triticum durum* Desf. (геном ВВА⁴А⁴, 2n = 28)» знакомит с историей классификаций твердой пшеницы от французского ботаника Р. Дефонтена, впервые описавшего твердую пшеницу как самостоятельный вид *T. durum* при исследовании культурной флоры Алжира и Туниса (Desfontaines, 1798). В последующие годы целый ряд ученых, занимавшихся систематикой пшеницы, определяли для твердой пшеницы разные ранги в своих классификациях (Mac Key, 1966, 1988; Гандилян, 1980; Löve, 1984; Kimber, Sears, 1987; van Slageren, 1994; Гончаров, 2002). Испанские биологи из Университета Мурсии опубликовали статью, посвященную обсуждению номенклатурного типа *Triticum durum* с целью внести вклад в номенклатурную стабильность вида путем лексотипизации названия с использованием образца, собранного на севере Африки и хранящегося в Herb. P. Определение типа основано на обращении к оригинальным элементам Дефонтена (Ferrer-Gallego et al., 2022).

Далее в рецензируемой работе представлена собственно внутривидовая классификация вида *T. durum* Desf. по В.Ф. Дорофееву с соавторами (1979), которая включает два подвида – *T. durum* Desf. subsp. *durum* (типовой подвид) и *T. durum* Desf. subsp. *horanicum* Vav. (Вавилов, 1964), первый из которых имеет в составе шесть групп разновидностей: convar. *durum*, *durocompactum* Flaksb., *aglossicon* Dorof. et A. Filat., *villosum* (Jakubz.) Dorof. et A. Filat., *falcatum* (Jakubz.) Dorof. et A. Filat., *caucasicum* (Dorof.) Dorof. Типовая группа разновидностей convar. *durum* в свою очередь состоит из трех подгрупп разновидностей: subconvar. *durum*, *muticum* (Orlov) Dorof. et A. Filat., *duroramosum* Dorof. Характеристики 136 разновидностей твердой пшеницы, в том числе 13 новых, дополнивших исходную классификацию (Ляпунова, 2017), представлены в 11 таблицах, сопровождающихся иллюстрациями колоса и зерновки большинства из них.

В разделе «Унифицированная внутривидовая классификация твердой пшеницы *Triticum durum* Desf.» предложен упрощенный аналог классификации, представленной в определителе твердой пшеницы В.Ф. Дорофеев и др. (1980), и описан метод ее создания. Все разнообразие изложено в виде таблиц (Приложения 1, 2), в которых для сравнения приведены названия разновидностей по К.А. Фляксбергеру (Фляксбергер, 1935) и В.Ф. Дорофееву (Дорофеев и др., 1979).

Рецензируемая монография, включающая внутривидовую классификацию твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) с выделением главных и дополнительных морфологических признаков колоса и зерновки, является законченной таксо-



номической работой на основе современной номенклатуры культурных растений. Книга представляет значительный теоретический интерес для ботаников и систематиков культурных растений, а также практический – для специалистов в области генетических ресурсов растений по поддержанию в живом виде больших по объему коллекций, их эффективному сохранению в генетических банках семян, всестороннему изучению и широкому практическому использованию.

Монография О.А. Ляпуновой, ведущего отечественного систематика по тетраплоидным пшеницам, куратора коллекции твердой пшеницы ВИР, несомненно, будет полезна селекционерам и другим исследователям твердой пшеницы, сотрудникам генетических банков семян за рубежом, поскольку содержит полный перевод на английский язык.

Список литературы / References

- Вавилов Н.И. Ботанико-географические основы селекции. В: Теоретические основы селекции растений. М.; Л., 1935;1:17-75.
[Vavilov N.I. Botanical and geographical bases of breeding. In: Theoretical bases of plant breeding. Moscow; Leningrad, 1935;1:17-75. (in Russian)]
- Вавилов Н.И. Мировые ресурсы хлебных злаков. Пшеница. Т. 2. Л.: Наука, 1964.
[Vavilov N.I. World resources of cereals. Wheat. Vol. 2. Leningrad: Nauka Publ., 1964. (in Russian)]
- Гандилян П.А. Определитель пшеницы, эгилопса, ржи и ячменя. Ереван: АН Арм. ССР, 1980.
[Gandilyan P.A. Key to wheat, aegilops, rye and barley. Erevan: AN Arm. SSR Publ., 1980. (in Russian)]

- Гончаров Н.П. Определитель разновидностей мягкой и твердой пшеницы. Новосибирск: СО РАН, 2009.
[Goncharov N.P. Manual book of common and durum wheat varieties. Novosibirsk: SB RAS Publ., 2009. (in Russian)]
- Гончаров Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей. Новосибирск: Сиб. унив., 2002.
[Goncharov N.P. Comparative genetics of wheat and their related species. Novosibirsk: Siberian University Publ., 2002. (in Russian)]
- Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Мигушева Э.Ф. Определитель пшеницы: методические указания. Л.: ВИР, 1980.
[Dorofeev V.F., Filatenko A.A., Migushova E.F. Identification keys to wheat: methodological guidelines. Leningrad: VIR Publ., 1980. (in Russian)]
- Дорофеев В.Ф., Филатенко А.А., Мигушева Э.Ф., Удачин Р.А., Якубцинер М.М. Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница. Л.: Колос, 1979.
[Dorofeev V.F., Filatenko A.A., Migushova E.F., Udaczin R.A., Jakubziner M.M. Cultivated flora of the USSR. Vol. 1. Wheat. Leningrad: Kolos Publ., 1979. (in Russian)]
- Зуев Е.В., Амри А., Брыкова А.Н., Пюккенен В.П., Митрофанова О.А. Атлас разнообразия мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по признакам колоса и зерновки. СПб.; Новосибирск: Копи-Р, 2013.
[Zuev E.V., Amri A., Brykova A.N., Pyukkenen V.P., Mitrofanova O.P. Atlas of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genetic diversity based on spike and kernel characters. St. Petersburg; Novosibirsk: Kopi-R Publ., 2013.]
- Зуев Е.В., Амри А., Брыкова А.Н., Пюккенен В.П., Митрофанова О.А. Атлас разнообразия мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по признакам колоса и зерновки. 2-е изд. СПб.: ВИР, 2019.
[Zuev E.V., Amri A., Brykova A.N., Pyukkenen V.P., Mitrofanova O.P. Atlas of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genetic diversity based on spike and kernel characters. 2nd edn. St. Petersburg: VIR Publ., 2019.]
- Ляпунова О.А. Внутривидовая классификация пшеницы твердой: новые ботанические разновидности и формы. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(2):152-157. DOI 10.18699/VJ17.233.
[Lyapunova O.A. Intraspecific classification of durum wheat: new botanical varieties and forms. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(2):152-157. DOI 10.18699/VJ17.233. (in Russian)]
- Ляпунова О.А. Внутривидовое разнообразие твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.): унифицированная классификация. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021;25(3):260-268. DOI 10.18699/VJ21.029.
[Lyapunova O.A. Intraspecific diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.): a unified classification. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(3):260-268. DOI 10.18699/VJ21.029. (in Russian)]
- Ляпунова О.А. Внутривидовое разнообразие твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.). СПб.: ВИР, 2022.
[Lyapunova O.A. Intraspecific diversity of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). St. Petersburg: VIR Publ., 2022. (in Russian)]
- Невский С. *Triticum* L. – Пшеница. В: Флора СССР. Т. 2. Л.: АН СССР, 1934;675-688.
[Nevski S. *Triticum* L. – Wheat. In: Flora the USSR. Vol. 2. Leningrad: AN SSSR Publ., 1934;675-688. (in Russian)]
- Фляксбергер К.А. Культурная флора СССР. Хлебные злаки. Пшеница. М.; Л.: Сельхозгиз, 1935;150-223.
[Flaksberger K.A. Cereals. Wheat. Cultivated Flora of the USSR. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz Publ., 1935;150-223. (in Russian)]
- Фляксбергер К.А., Антропов В.И., Антропов В.Ф., Бахтеев Ф.Х. Определитель настоящих хлебов. Пшеница, рожь, ячмень, овес. М.; Л.: Сельхозгиз, 1939;63-92.
[Flaksberger K.A., Antropov V.I., Antropov V.F., Bakhteev F.Kh. Key to true cereals. wheat, rye, barley, oat. Moscow; Leningrad: Selkhozgiz Publ., 1939;63-92. (in Russian)]
- Чикида Н.Н. Вклад академика Владимира Филимоновича Дорофеева в развитие сельскохозяйственной и биологической наук. *Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2020;6(1):18-36. DOI 10.18699/Letters2020-6-04.
[Chikida N.N. Contribution of academician Vladimir Filimonovich Dorofeev to the development of agricultural and biological sciences. *Pisma v Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Letters to Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020;6(1):18-36. DOI 10.18699/Letters2020-6-04. (in Russian)]
- Bowden W.M. The taxonomy and nomenclature of the wheats, barleys and ryes, and their wild relatives. *Canad. J. Bot.* 1959;37:657-684. DOI 10.1139/b59-053.
- Desfontaines R.L. Flora Atlantica: sive historia plantarum quae in Atlantae, agro tunetano et algeriensi crescent. Parisiis: L.G. Desgranges, 1798;1:114.
- Ferrer-Gallego P.P., Laguna E., Obon C., Alcaraz F., Rivera D. On the nomenclatural type of *Triticum durum* (Poaceae: Triticeae). *Phytotaxa*. 2022;555(1):103-108. DOI 10.11646/phytotaxa.555.1.8.
- Goncharov N.P. Comparative genetic analysis – a base for wheat taxonomy revision. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 2005;41;5255.
- Goncharov N.P. Genus *Triticum* L. taxonomy: the present and the future. *Plant Syst. Evol.* 2011;295:1-11. DOI 10.1007/s00606-011-0480-9.
- Jakubziner M.M. New wheat species. In: Proceed. 1st Intern. Wheat Genet Symp. Winnipeg (Canada), 1958;207-217.
- Kimber G., Feldman M. Wild wheat: an introduction. Columbia, MO: University of Missouri, 1987.
- Kimber G., Sears E.R. Evolution in the genus *Triticum* and the origin of cultivated wheat. In: Heyne E.G. (Ed.). Wheat and wheat improvement. Madison: American Society of Agronomy, 1987;154-164. DOI 10.2134/agronmonogr13.2ed.C6.
- Körnicker F. Der Weizen. In: Körnicke F., Werner H. (Ed.). *Handbuch des Getreidebaus*. Bd. 1. Berlin: Paul Parey, 1885;22-114.
- Linnaeus C. *Critica Botanica*. Leiden, 1737. Available at: <http://ru.knowledgr.com/09901965/CriticaBotanica>.
- Löve A. Conspectus of the Triticeae. *Feddes Repert.* 1984;95(7-8):425-521. DOI 10.1002/fedr.4910950702.
- Mac Key J. A plant breeder's perspective on taxonomy of cultivated plants. *Biologisches Zentralblatt*. 1988;107:369-379
- Mac Key J. Species relationship in *Triticum*. *Hereditas*. 1966;Suppl. 2:237-276.
- Morris R., Sears E.R. The cytogenetics of wheat and its relatives. In: Quisenberry K.S., Reitz L.P. (Eds.). Wheat and wheat improvement. Madison: American Society of Agronomy, 1967;19-87.
- Percival J. The Wheat plants. London: Duckworth and Company, 1921.
- Thellung A. Zur Terminologie der Adventiv- und Ruderalfloristik *Allg. Bot. Zeitschr.* 1918;24-25:36-42.
- van Slageren M.W. Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblopyrum* (Jaub. et Spach) Eig (Poaceae). Wageningen: Agricultural University, 1994.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 08.12.2022. После доработки 14.12.2022. Принята к публикации 19.12.2022.

«Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции» – сетевое научное издание открытого доступа. Основано в 2015 году (до 2019 года выходило под названием «Письма в Вавиловский журнал»). На страницах издания публикуются результаты экспериментальных, методических и теоретических исследований, аналитические обзоры по всем разделам генетики и селекции, а также по смежным областям биологических и сельскохозяйственных наук; материалы и документы по истории генетики и селекции; описания сортов растений и пород животных; рецензии; письма, адресованные редактору; персоналии и мемориальные статьи; хроника и информация из региональных отделений Вавиловского общества генетиков и селекционеров.

Цель издания – донести новейшие результаты фундаментальных и прикладных исследований в области генетики растений, животных, человека, микроорганизмов, описание новых методов и селекционных достижений до наибольшего числа ученых, включая специалистов из смежных областей науки и техники, а также до преподавателей вузов, читающих курсы лекций по генетике и селекции.

Всем статьям присваивается DOI.

Входит в РИНЦ и DOAJ.

Регистрационное свидетельство СМИ Эл № ФС77-75536 выдано 08 мая 2019 года Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Прием статей осуществляется через электронную почту редакции: pismavavilov@bionet.nsc.ru

Адрес издания в сети интернет: <http://pismavavilov.ru/>

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук» (ИЦиГ СО РАН)

Адрес учредителя и издателя: проспект Академика Лаврентьева, 10, Новосибирск, 630090

Адрес редакции: проспект Академика Лаврентьева, 10, Новосибирск, 630090

Телефон редакции: (383) 363 4963, доб. 5316

✉ Электронный адрес редакции: pismavavilov@bionet.nsc.ru

Выпуск подготовлен информационно-издательским отделом ИЦиГ СО РАН.

Дата публикации: 31.03.2023