

УДК 633.13

ГРНТИ 34.23.57

DOI 10.24412/2409-3203-2022-30-27-32

## **ГЕНЕТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР К БОЛЕЗНЯМ – КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

**Мамаева Виктория Сергеевна**

м.н.с., лаборатория геномных исследований в растениеводстве

Федеральный исследовательский центр

Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук

Россия, г. Тюмень

**Ерёмин Дмитрий Иванович**

д.б.н., профессор кафедры почвоведения и агрохимии

Государственный аграрный университет Северного Зауралья

Россия, г. Тюмень

**Аннотация:** В последние годы селекционерами были выведены новые сорта, которые обладают набором ценнейших биологически активных веществ и микроэлементов, необходимых для человека. Учеными был взят курс на создание сортов для функционального питания. Однако, при создании новых сортов сельскохозяйственных культур, селекционеры большое внимание уделяют хозяйственно ценным признакам – обычно это урожайность и качество товарной продукции, и в меньшей степени пищевым свойствам. Недостаточное внимание к устойчивости создаваемых сортов к болезням привело к тому, что на территории Российской Федерации существует более 1000 сортов зерновых культур, не имеющих устойчивости к основным болезням.

**Ключевые слова:** овёс, болезни, генетическая устойчивость, листовая ржавчина, корончатая ржавчина, мучнистая роса, стеблевая ржавчина.

## **GENETIC RESISTANCE OF GRAIN CROPS TO DISEASES - AS A FACTOR OF ECOLOGIZATION OF AGRICULTURE**

**Mamaeva Victoria Sergeevna**

junior researcher, Laboratory of Genomic Research in Plant Breeding, Federal Research Center

Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,

Russia, Tyumen

**Eremin Dmitry Ivanovich**

doctor of biological sciences, professor of the chair of soil science and agrochemistry

Northern Trans-Urals State Agrarian University

Russia, Tyumen

**Abstract:** In recent years, breeders have bred new varieties that have a set of the most valuable biologically active substances and trace elements necessary for humans. Scientists have taken a course to create varieties for functional nutrition. However, when creating new varieties of agricultural crops, breeders pay great attention to economically valuable traits - usually the yield and quality of marketable products, and to a lesser extent nutritional properties. Insufficient attention to the resistance of the created varieties to diseases has led to the fact that on the territory of the Russian Federation there are more than 1000 varieties of grain crops that do not have resistance to the main diseases.

**Keywords:** oats, diseases, genetic resistance, leaf rust, crown rust, powdery mildew, stem rust.

Развитие сельского хозяйства обусловлено совокупностью инженерных и биотехнологических решений различных сфер науки [1, 2, 3]. Благодаря научным изысканиям в агропромышленном комплексе постоянно появляются различные элементы системы земледелия, обеспечивающие получение высоких урожаев в разных природно-климатических зонах [4]. Именно сельскохозяйственная наука, сосредоточенная в зональных научно-исследовательских институтах и аграрных ВУЗах, дала возможность продвигаться сельскому хозяйству на север и восток нашей страны. В прошлом это продвижение сдерживалось отсутствием научно-обоснованной системы возделывания культур, учитывающей природно-климатические факторы сибирских регионов. Также отсутствовали сорта зерновых культур, обладающие высокой экологической пластичностью [5, 6].

Одним из первых на полях Сибири появился овес, который был и до настоящего времени остается универсальной культурой. Крестьяне высевали его, главным образом, для кормления лошадей. Но овес подходил и для других животных и домашней птицы. В неурожайные годы, овес использовали для собственного питания. В настоящее время овес не утратил своей значимости, его также используют как кормовую культуру. В рационе человека овес занимает и прочно удерживает довольно большой сегмент диетического питания. В последние годы селекционерами были выведены новые сорта, которые обладают набором ценнейших биологически активных веществ и микроэлементов, необходимых для человека [7, 8]. Учеными был взят курс на создание сортов для функционального питания. Однако, при создании новых сортов сельскохозяйственных культур, селекционеры большое внимание уделяют хозяйственно ценным признакам – обычно это урожайность и качество товарной продукции, и в меньшей степени пищевым свойствам. Также в качестве критерия отбора выступают: вегетационный период, высота растений. Но, к большому сожалению, создаваемые ранее сорта овса проверяли на генетическую устойчивость к болезням не в полной мере, отмечая подверженность заболеваниям лишь по фенотипическим признакам [9]. Причиной этого, по всей видимости, была низкая технологическая оснащенность в сфере анализа устойчивости на генетическом уровне. В настоящее время устойчивость к заболеваниям входит в показатели модели сорта [10, 11].

Недостаточное внимание селекционеров к устойчивости создаваемых сортов к болезням привело к тому, что на территории Российской Федерации существует более 1000 сортов зерновых культур, не имеющих устойчивости к основным болезням [12]. Особенно это проявляется у высокотехнологичных сортов, которые максимально эффективны на высоком агрофоне, но все они предусматривают применение интегральной системы защиты от болезней и вредителей. Установлено, что такие сорта неустойчивы к заболеваниям и без ядохимикатов снижают фактическую урожайность более чем в 2 раза [13]. Выращивание таких сортов подразумевает широкое применение средств химической защиты, что в конечном итоге может негативно отразиться на окружающей среде [14]. Поэтому возникла необходимость экологизации сельского хозяйства путем сокращения химических обработок вплоть до полного отказа от них [15]. В настоящее время перед селекционерами стоит задача выведения сортов нового поколения с генетической устойчивостью к болезням.

Существует множество болезней зерновых культур. Наиболее вредоносной считают листовую ржавчину (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.). Э.Р. Давоян и другие исследователи установили, что для защиты сортов от листовой ржавчины эффективно использование отдаленной гибридизации. Это позволяет обогащать генофонд культурных видов за счет дикорастущих сородичей, устойчивость которых возростала и закреплялась на генетическом уровне в ходе эволюционного развития. Большое количество исследований по всему миру посвящено передаче эффективных генов устойчивости к листовой ржавчине в геном мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Так, например, ген устойчивости к листовой ржавчине Lr9 был интрогрессирован в геном гексаплоидной

пшеницы из *Aegilops umbellulata* Zhuk. [16]. В настоящее время известно о передаче генов Lr35, Lr36, Lr47 и Lr51 от вида *Ae. speltoides* Tausch [17]. Для передачи пшенице от диких сородичей генов устойчивости к болезням, а также других положительных признаков, был разработан подход по перестройке генома мягкой пшеницы. Путем замещения генома твердой пшеницы на геномы AABB мягкой пшеницы был получен тетраплоидный компонент сорта Аврора. С использованием полученного тетракомпонента были созданы синтетические геномно-замещенные формы Авролата и Авродес, у которых геном D мягкой пшеницы был замещен соответственно геномом U вида *Ae. umbellulata* и геномом S *Ae. speltoides* [18].

В последние десятилетия резко увеличились площади зерновых культур пораженных корончатой ржавчиной (*Puccinia coronata* Corda). Эта болезнь особенно сильно развивается на зерновых, растущих на высоком агрофоне [19]. У овса посевного (*Avena sativa* L.) повышенная устойчивость к корончатой ржавчине была достигнута за счет использования специфичных для расы устойчивых генов, полученных из *A. sterilis* L. Ген Rc39 был первым геном, полученным от дикого родственника, который был внедрен в новый сорт. Затем были выпущены сорта, обладающие генами Rc38 и Rc39. Была получена серия сортов с высокоэффективными геном Rc68, интрогрессированным из *A. sterilis*, которая, однако, вскоре потеряла свою эффективность. Ген Rc94 был получен путем переноса из диплоида *A. strigosa* Schreb. Этот ген был объединен с Rc68 в сорте Leggett. Современные источники устойчивости к корончатой ржавчине становятся неэффективными из-за изменения структуры вирулентности патогена. Поэтому крайне необходимы новые доноры устойчивости. Среди диких видов овса устойчивость к этому заболеванию довольно распространена. Они остаются большим неиспользованным резервуаром устойчивости к корончатой ржавчине. Вместе с корончатой ржавчиной часто встречается и ржавчина стеблевая. У пшеницы и ее диких родичей известно более 50 различных генов полной устойчивости к стеблевой ржавчине, специфичных для расы. Ген Sr31, идентифицированный у ржи (*Secale cereale* L.) и перенесенный в пшеницу, был признан очень эффективным и широко использовался. Однако, он не проявил эффективности против новой крайне агрессивной расы стеблевой ржавчины, ныне известной как UG99 [20]. Для эффективной борьбы со стеблевой ржавчиной пшеницы существуют как краткосрочные, так и долгосрочные стратегии селекции.

Еще одной болезнью, которая имеет широкое распространение на территории средних широт является мучнистая роса (*Blumeria graminis* (DC.) Speer). Устойчивость ячменя (*Hordeum vulgare* L.) к мучнистой росе контролируется двумя генетически различными путями. Один путь устойчивости контролируется рецессивными аллелями локуса mlo, а второй путь – многими генами устойчивости, специфичными для расы (R-генами), такими как Mlk, Mla и Mlg [21]. Эти гены быстро активируются и вызывают гибель клеток-хозяев в месте инфекции, называемую клеточной гибелью. Локус Mla расположен на хромосоме 1HS ячменя. С помощью маркеров на основе RFLP, SSR, SCAR и SNP (специфичных для генов) идентифицирован 31 аллель данного локуса. Увеличение числа новых аллелей локуса Mla в основном связано с присоединением их путем гибридизации с дикорастущим ячменем [22].

В настоящее время для пшеницы предложен достаточный набор молекулярных маркеров, позволяющий проводить маркер-ориентированную селекцию (MAS). Но большая часть из них позволяет провести идентификацию генов устойчивости к болезням, вызываемым облигатными патогенами – бурой (Lr) и стеблевой (Sr) ржавчинам, а также мучнистой росе (Pm) [23]. Номенклатура генов устойчивости представлена в каталоге Catalogue of gene symbols for wheat: 2020 supplement [24]. Листовая ржавчина: Lr13, Lr39, Lr42, Lr49, Lr64, Lr67, Lr68, Lr77, Lr78, Lr80; стеблевая ржавчина: Sr2, Sr7a, Sr7b, Sr8a, Sr9h, SR13, Sr13a, Sr13b, Sr22, Sr28, Sr38, Sr45, Sr46, Sr50, Sr60, Sr61, SrTA1662, SrTA10276-2V, SrTmр; мучнистая роса: Pm3, Pm6, Pm8, Pm17, Pm24, Pm41, Pm60, Pm67, Pm68.

На данный момент многие селекционеры занимаются изучением генов устойчивости у зерновых культур. Е.И. Гульятеева, Е.Л. Шайдаюк, А.С. Рсалиев исследовали образцы яровой мягкой пшеницы Российской и Казахстанской селекции. Целью их исследований была идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у перспективного селекционного материала яровой пшеницы с использованием фитопатологического теста и молекулярных маркеров. В качестве исходного материала были выбраны 47 образцов яровой мягкой пшеницы, включенных в программу исследований КАСИБ в 2019–2020 гг. Проведенные исследования продемонстрировали высокое разнообразие изученной коллекции яровой пшеницы по Lr-генам, что указывает на существенный прогресс в селекции пшеницы на устойчивость к бурой ржавчине в России и Казахстане [25]. В XXI веке открылись новые возможности для селекции с использованием молекулярных маркеров. Были разработаны SNP-маркеры, близкие к гену Pс94. QTLs, связанные с частичной устойчивостью корончатой ржавчины овса, были идентифицированы Barbosa et al (2006) и Jackson et al (2008). В настоящее время по всему миру активно идет сбор данных по обнаруженным штаммам болезней зерновых культур. Также формируются электронные базы данных с использованием технологии Big Date. Так, в Калифорнийском университете была собрана база данных, в которой представлена информация по выявленным генам устойчивости к различным видам ржавчины яровой пшеницы [26]. Аналогичные данные формируются для ячменя, овса, кукурузы и риса.

Наличие международных электронных баз данных, систематизирующих информацию по генам устойчивости, и их открытость для всех исследователей позволяет наиболее эффективно отслеживать ситуацию по распространению и появлению новых штаммов фитопатогенов. Это помогает сдерживать темпы распространения основных болезней зерновых культур на планете. Совместная деятельность генетиков, фитопатологов и селекционеров делает возможным создание сортов нового поколения, с генетической устойчивостью к основным болезням.

#### Заключение

В ходе анализа литературных источников по проблеме генетической устойчивости зерновых культур к основным болезням было установлено, что это является актуальной проблемой мирового масштаба. Помимо традиционных способов химической защиты растений от болезней, идет активный сбор сведений о новых расах патогенов, поиск генов устойчивости к ним среди культурных видов и их диких родичей, создаются электронные базы данных для обобщения информации, полученной мировым научным сообществом. В селекционных программах все активнее используются сорта зерновых культур, в геноме которых максимально присутствуют гены устойчивости к ржавчине, мучнистой росе и другим болезням.

#### Благодарности/Acknowledgements

Работа выполнена по госзаданию №122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

#### Список литературы:

1. Каюгина, С. М. Индикативное планирование в АПК / С. М. Каюгина // Современная наука- агропромышленному производству : сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 135-летию первого среднего учебного заведения Зауралья - Александровского реального училища и 55-летию ГАУ Северного Зауралья, Тюмень, 23–24 октября 2014 года. – Тюмень: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Государственный аграрный университет Северного Зауралья", 2014. – С. 27-29.
2. Любимова, А. В. Овёс в Тюменской области / А. В. Любимова, А. С. Иваненко. – Тюмень : НИИСХ СЗ - филиал ТюмНЦ СО РАН, 2021. – 172 с. – ISBN 978-5-4266-0203-8.

3. Абрамов, Н. В. Агрохимия в эпоху точного земледелия / Н. В. Абрамов, С. А. Семизоров, С. В. Шерстобитов // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия : Материалы научно-производственной конференции с международным участием, Тюмень, 16–20 июля 2018 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2018. – С. 57-67.
4. Федоткин, В. А. Ресурсосберегающие интенсивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в лесостепи Тюменской области / В. А. Федоткин, В. В. Рзаева // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2004. – № 10. – С. 23-27.
5. Тоболова, Г. В. Использование биохимических методов в селекции и семеноводстве / Г. В. Тоболова, А. В. Любимова // Современные научно-практические решения в АПК : Сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Тюмень, 08 декабря 2017 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2017. – С. 760-764.
6. Тоболова, Г. В. Биохимические маркеры в селекции и семеноводстве / Г. В. Тоболова, А. В. Любимова // Сборник статей II всероссийской (национальной) научно-практической конференции "Современные научно-практические решения в АПК", Тюмень, 26 октября 2018 года / Государственный аграрный университет Северного Зауралья. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2018. – С. 145-148.
7. Lyubimova, A. V. Prolamin electrophoresis method for assessing the varietal qualities of oat seeds / A. V. Lyubimova, D. I. Eremin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019, Rostov-on-Don, 10–13 сентября 2019 года. – Rostov-on-Don: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012178. – DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012178.
8. Fomina, M. N. Agrometeorological characteristics of spring oat varieties created in the conditions of the Northern Trans-Urals / M. N. Fomina // BIO Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference, Tyumen, 19–20 июля 2021 года. – Tyumen: EDP Sciences, 2021. – P. 01018. – DOI 10.1051/bioconf/20213601018.
9. Фомина, М. Н. Влияние агротехнических приемов на формирование качества зерна у сортов овса в условиях Северного Зауралья / М. Н. Фомина, Н. А. Брагин, С. А. Белоусов // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – № 11. – С. 31-36. – DOI 10.53859/02352451\_2021\_35\_11\_31.
10. Еремин, Д. И. Взгляд агрохимика на модель сорта овса посевного для Западной Сибири / Д. И. Еремин // Инновационные технологии в АПК: теория и практика : сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Курган, 11 марта 2021 года. – Курган: Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева, 2021. – С. 275-280.
11. Казак, А. А. Научные основы разработки модели сорта яровой мягкой пшеницы для Западной Сибири / А. А. Казак, Ю. П. Логинов // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 3(31). – С. 9-12.
12. Каталог сортов / Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр СО РАН, НИИСХ Северного Зауралья. – Тюмень : Печатник, 2021. – 80 с. – ISBN 9875426601970.
13. Еремин, Д. И. Точка зрения агрохимика на стратегию создания новых сортов зерновых культур интенсивного типа / Д. И. Еремин // Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири ОСП - 2019 : материалы международной научной конференции, проведенной в рамках 46-го заседания Объединенного научного и проблемного совета по растениеводству, селекции, биотехнологии и семеноводству ОУС СО РАН по сельскохозяйственным наукам и, посвящённой 90-летию академика РАН Гончарова П.Л., Красноярск, 23–26 июля 2019 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 2019. – С. 221-224.

14. Шулепова, О. В. Влияние фунгицидов и препарата росток на продуктивность и качество зерна сортов ячменя в условиях Северного Зауралья / О. В. Шулепова // Агропродовольственная политика России. – 2014. – № 2(26). – С. 24-27.

15. Харалгина, О. С. Минимализация обработки почвы в лесостепи Тюменской области : специальность 06.01.01 "Общее земледелие, растениеводство" : диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Харалгина Оксана Сергеевна. – Тюмень, 2007. – 176 с.

16. Давоян Э. Р. Идентификация генов устойчивости к листовой ржавчине в видах *Aegilops L.*, синтетических формах и интрогрессивных линиях мягкой пшеницы / Э. Р. Давоян, Р. О. Давоян, И. В. Бебякина [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. – Т. 16. – № 1. – С. 116-122.

17. Davoyan, E. R. Creation of common wheat lines with pyramids of genes for resistance to leaf rust / E. R. Davoyan, L. A. Beshpalova, E. V. Agaeva [et al.] // Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology : The 6th International Scientific Conference. Abstracts, Novosibirsk, 14–18 июня 2021 года / Editors: Alexey V. Kochetov, Elena A. Salina. – Новосибирск: Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 2021. – P. 51. – DOI 10.18699/PlantGen2021-035.

18. Bazhenov M. S. Alleles of the GRF3-2A gene in wheat and their agronomic value / M. S. Bazhenov, A. G. Chernook, G. I. Karlov [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2021. – Vol. 22. – No 22. – P. 12376. – DOI 10.3390/ijms222212376.

19. Шеленга Т. В. Использование метаболомного подхода для поиска форм *Aegilops tauschii* Coss. из коллекции ВИР им. Н.И. Вавилова, устойчивых к грибным патогенам / Т. В. Шеленга, Л. Л. Малышев, Ю. А. Керв [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2020. – Т. 24. – № 3. – С. 252-258. – DOI 10.18699/VJ20.618.

20. Шаманин В.П. Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к местной популяции и к вирулентной расе UG 99 стеблевой ржавчины в условиях Западной Сибири / В. П. Шаманин, А. И. Моргунов, Я. Манес [и др.] // Информационный вестник ВОГиС. – 2010. – Т. 14. – № 2. – С. 223-231.

21. Шафикова, Т. Н. Молекулярно-генетические аспекты иммунитета растений к фитопатогенным бактериям и грибам / Т. Н. Шафикова, Ю. В. Омеличкина // Физиология растений. – 2015. – Т. 62. – № 5. – С. 611. – DOI 10.7868/S0015330315050140.

22. Enikeev A. G. Physiological Consequences of Genetic Transformation: Result of Target Gene Expression or Stress Reaction? / A. G. Enikeev, T. V. Kopytina, L. A. Maximova [et al.] // Journal of Stress Physiology & Biochemistry. – 2015. – Vol. 11. – No 2. – P. 64-72.

23. Рсалиев А. С. Характеристика устойчивости перспективных образцов яровой мягкой пшеницы к листостебельным болезням / А. С. Рсалиев, Е. И. Гультяева, Е. Л. Шайдаюк [и др.] // Биотехнология и селекция растений. – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 14-23. – DOI 10.30901/2658-6266-2019-2-14-23.

24. Stem rust resistance genes // Marker Assisted Selection in Wheat URL: [https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/stem\\_rust\\_protocols](https://maswheat.ucdavis.edu/protocols/stem_rust_protocols) (дата обращения 10.03.2022)

25. Гультяева, Е. И. Идентификация генов устойчивости к бурой ржавчине у образцов яровой мягкой пшеницы российской и казахстанской селекции / Е. И. Гультяева, Е. Л. Шайдаюк, А. С. Рсалиев // Вестник защиты растений. – 2019. – № 3(101). – С. 41-49. – DOI 10.31993/2308-6459-2019-3(101)-41-49.

26. V. Catalogue of gene symbols for wheat: 2020 supplement // Annual Wheat NewsletteURL:<https://wheat.pw.usda.gov/GG3/sites/default/files/Catalogue%20of%20Gene%20Symbols%20for%20Wheat%20-%20supplement2020.pdf> (дата обращения 10.03.2022)