ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 633.14«324»:631.527(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170

Поступила в редакцию 25.03.2021
Received 25.03.2021

Э. П. Урбан[1], С. И. Гордей[1], Д. Ю. Артюх[1], И. С. Гордей[2]

[1]Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию, Жодино, Беларусь
[2]Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

НАПРАВЛЕНИЯ, МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ РЖИ (*SECALE CEREALE* L.) В БЕЛАРУСИ

Аннотация. На современном этапе развития науки селекция новых сортов растений с использованием современных, в том числе молекулярных, методов является одним из основных звеньев интенсификации сельскохозяйственной отрасли. Рожь в этом отношении не является исключением. Для Беларуси это традиционная стратегическая культура, во многом определяющая продовольственную безопасность страны. В статье в историческом контексте изложены основные достижения в селекции сортов ржи разного направления использования. Описаны основные подходы, включающие: скрининг мирового разнообразия озимой ржи в условиях Беларуси; использование методов экспериментальной полиплоидии, гибридизации, стабилизирующего отбора, молекулярно-генетических методов и методик. Разработка и использование современных методов позволили раскрыть ряд генетических механизмов, закономерностей, что, в свою очередь, существенно повысило эффективность селекции ржи разных направлений (популяционной и гетерозисной). К настоящему времени в Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию, Институте генетики и цитологии НАН Беларуси разработаны новые методы селекции, включая молекулярно-генетические, что особенно важно для повышения эффективности получения конкурентоспособных сортов. Достигнуты значимые результаты по использованию эффекта гетерозиса на основе цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). В настоящее время в Республике Беларусь создана система высокопродуктивных конкурентоспособных сортов ржи для почв разного уровня плодородия: популяционные тетраплоидные и диплоидные, а также гибриды F_1 – ЛоБел-103, Галинка, Плиса, Белги.

Ключевые слова: селекция, озимая рожь, сорт, образец, генотип, гетерозис, гибридный сорт, зимостойкость, урожайность, качество, адаптивность, белок

Для цитирования: Направления, методы и результаты селекции ржи (*Secale cereale* L.) в Беларуси / Э. П. Урбан, С. И. Гордей, Д. Ю. Артюх, И. С. Гордей // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2022. – Т. 60, № 2. – С. 160–170. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170

Eroma P. Urban[1], Stanislau I. Hardzei[1], Dzmitry U. Artjukh[1], Igar S. Hardzei[2]

[1]Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Belarus
[2]Institute of Genetics & Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

DIRECTIONS, METHODS AND RESULTS OF RYE (*SECALE CEREALE* L.) BREEDING IN BELARUS

Abstract. At the present stage of science development, breeding of new varieties of plants using modern, including molecular methods, is one of the main links in the intensification of the agricultural industry. Rye is no exception in this respect. This is a traditional strategic crop for Belarus, that largely determines the country's food security. In the paper, in a historical context, the main achievements in breeding of rye varieties for different uses are outlined. The main approaches are described, including: screening of the world diversity of winter rye in the conditions of Belarus; use of methods of experimental polyploidy, hybridization, stabilizing selection, molecular-genetic methods and techniques. Development and application of modern methods have allowed a number of genetic mechanisms and regularities to be discovered, which, in turn, has significantly increased the efficiency of rye breeding in different directions (population and heterosis). At present, RUE "Scientific and Practical Center of the NAS of Belarus for Arable Farming", State Scientific Institution "Institute of Genetics and Cytology of the NAS of Belarus", as well as jointly with other institutions have developed new breeding methods, including molecular-genetic ones, which is especially important for increasing the efficiency of obtaining

competitive varieties. Significant results have been achieved on the use of the effect of heterosis based on cytoplasmic male sterility (CMS). To date, a system of highly productive competitive rye varieties has been created for soils of different levels of fertility: population tetraploid and diploid, as well as F_1 hybrids – LoBel-103, Galinka, Plisa, and Belgi.

Keywords: breeding, winter rye, cultivar, sample, genotype, heterosis, hybrid cultivar, winter hardiness, productivity, quality, adaptability, protein

For citation: Urban E. P., Hardzei S. I., Artjukh D. U., Hardzei I. S. Directions, methods and results of rye (*Secale cereale* L.) breeding in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2022, vol. 60, no. 2, pp. 160–170 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170

Введение. В ряде стран – в Германии, Польше, России, Дании, Беларуси, Украине (так называемые страны «ржаного пояса») рожь наряду с пшеницей является ведущей продовольственной культурой – здесь производится около 80 % мирового сбора зерна ржи. Для Беларуси рожь является традиционной культурой, во многом определяющей продовольственную безопасность страны, посевные площади в последние годы установились на уровне 360–370 тыс. га.

Рожь может давать урожай в экстремальных климатических условиях, при которых невозможно возделывание других культур, в том числе при низком уровне осадков и низких температурах. Она хорошо переносит бедные почвы и обладает исключительно высокой эффективностью использования цинка. Кроме того, известно, что для нее характерна низкая потребность в удобрениях и пестицидах, что делает ее производство в конкретных регионах целесообразным с экологической и экономической точек зрения.

В Республике Беларусь на долю озимой ржи приходится до 15 % пашни, отводимой под возделывание зерновых и зернобобовых культур, от 8 до 12 % в валовых сборах и государственных заготовках зерновых и зернобобовых. Рожь успешно произрастает на низкоплодородных песчаных, супесчаных, малопригодных дерново-подзолистых кислых почвах, доля которых в Республике Беларусь составляет около 50 % [1].

Рожь в основном выращивается на зерно, а также в некоторых случаях совместно с другими культурами, что способствует диверсификации производственных систем, особенно в районах с неблагоприятными условиями произрастания. Это пастбищный злак, который используется для предотвращения ветровой эрозии почвы. Зимостойкость ржи и ее быстрый рост в начале весны в холодном климате делают ее очень удобной зерновой и пастбищной культурой.

Кроме того, рожь применяется в качестве корма, однако по сравнению с другими кормовыми злаками ее зерно обладает достаточно низкой кормовой ценностью. Рожь образует во рту животного липкую массу и может быть крайне неприятной на вкус, а при наличии спорыньи – даже ядовитой. Несмотря на то что как пастбищная культура она не очень вкусна, животные охотно потребляют ее, когда другие зеленые корма недоступны [2, 3]. Основное преимущество озимой ржи в качестве фуражной культуры по сравнению с озимой пшеницей или озимой тритикале заключается в том, что она отличается повышенной устойчивостью и достигает оптимальной потребительской зрелости на 7–10 дней раньше.

Создание новых сортов и гибридов этой культуры является одним из основных звеньев в обеспечении высокой урожайности и качества зерна.

Цель работы – анализ достижений и состояния селекции ржи в Беларуси, разработка новых и совершенствование существующих подходов и методов селекции; создание новых, конкурентоспособных сортов озимой ржи продовольственного и кормового направления, соответствующих по своим хозяйственно ценным признакам мировым стандартам, для экологических условий Республике Беларусь.

Основная часть. Началом научной селекционной работы по ржи в Беларуси считается конец 1930-х – начало 1940-х годов. На первых этапах работа была направлена на увеличение продуктивности возделываемых сортов и велась методами массового и индивидуального отборов из местных популяций. Первые селекционные сорта ржи Партизанская местная и Беняконская получил А. М. Богомолов методом непрерывного отбора из популяций местной ржи, с 1950 г. они были районированы по всем областям Беларуси. Впоследствии по посевным площадям сорт Беняконская стал сортом-миллионером [4].

В дальнейшей селекционной работе широкое применение получил метод формирования сложных популяций из гибридных компонентов, полученных в результате скрещивания сортов разных экологических групп. Опыт показал, что сорта, созданные методом сложных популяций, в большой степени сочетают высокую урожайность с зимостойкостью, устойчивостью к полеганию, качеством зерна [5].

На втором этапе (1971–1980 гг.) методом гибридизации сортов Партизанская местная, Беняконская, Новозыбковская 4 при их свободным переопылении с последующим многократным индивидуально-семейным отбором был создан сорт Дружба, районированный по БССР с 1971 г.

В результате отбора более низкорослых форм из гибридных комбинаций с участием сортов-компонентов Петкусская короткостебельная, Kungs II, Харьковская 60 и короткостебельных форм местной селекции был создан сорт Белорусская 23 (1980 г.). Этот сорт имел более короткий стебель по сравнению со стандартом (Харьковская 60) и превосходил его по устойчивости к полеганию [6, 7].

Метод экспериментальной полиплоидии является относительно новым направлением в селекции ржи. В Беларуси селекционную работу с тетраплоидными формами озимой ржи начали в 1955 г., когда из ГДР был получен образец тетраплоидной ржи Петкусская тетра [8]. Созданием первого тетраплоидного сорта озимой ржи Белта (Белорусская тетраплоидная) была доказана перспективность метода экспериментальной полиплоидии в селекции озимой ржи [9–11]. Основная заслуга в данном направлении принадлежит коллективу ученых-селекционеров под руководством профессора Н. Д. Мухина.

Сорт Белта по урожайности превышал районированные в то время диплоидные сорта (Беняконская, Партизанская местная, Харьковская 60) до 7–9 ц/га. К тому же он отличался крупным зерном, продуктивным колосом, высоким содержанием переваримого протеина, повышенной устойчивостью к полеганию и был первым отечественным сортом тетраплоидной ржи, районированным сначала в Беларуси (1969 г.), затем в РСФСР, Украине, Молдавии, ГДР и занявшим впоследствии площадь в 1 млн 295 тыс. га.

В Институте генетики и цитологии НАН Беларуси под руководством профессора О. О. Кедрова-Зихмана проведены многолетние исследования по генетике и цитогенетике озимой ржи, включая получение и изучение триплоидов, простых и сложных трисомиков, морфологическую идентификацию первичных трисомиков, использование их в генетическом анализе и установление групп сцепления [12]. На основании результатов этих исследований разработана методология создания трисомиков и трансгрессивных форм на основе гетероплоидных скрещиваний озимой ржи (рис. 1).

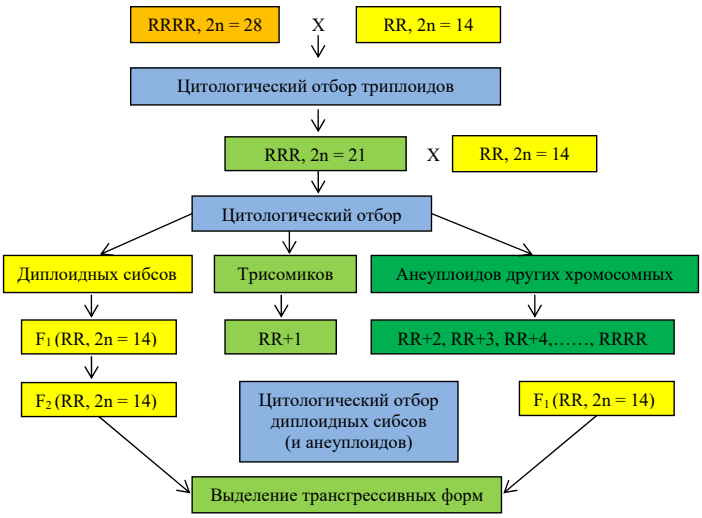

Рис.1. Схема создания трисомиков и трансгрессивных форм на основе гетероплоидных скрещиваний озимой ржи

Fig.1. Diagram of creating trisomics and transgressive forms based on heteroploid crosses of winter rye

Показано, что при последовательных гетероплоидных скрещиваниях ($4n \times 2n \rightarrow 3n \times 2n$) происходит дестабилизация мейоза за счет образования триплоидным компонентом гамет с несбалансированным кариотипом (от n до $2n$). Это приводит к расширению мейотической рекомбинации за счет повышения обменов на уровне целых хромосом, их сегментов и отдельных нуклеотидов и создает условия для селективного отбора гамет и зигот. Использование в гибридизации нестабильных триплоидных генотипов расширяет амплитуду изменчивости фенотипических и количественных признаков. В результате в потомстве таких скрещиваний увеличивается генотипическое разнообразие, с высокой частотой образуются диплоидные трансгрессивные формы по количественным признакам, что является генетической основой формирования трансгрессивных, более продуктивных генотипов [13].

Проведена также большая работа по созданию генофонда самофертильных линий озимой ржи с использованием источников самофертильности [14]. В начале 1990-х годов в Институте генетики и цитологии НАН Беларуси под руководством академика НАН Беларуси Н. А. Картеля совместно с Институтом генетики и растениеводства (Гатерслебен, Германия) и Санкт-Петербурским университетом (Россия) проведены исследования по картированию генома ржи [15]. Общая длина карты охватывает все хромосомы и составляет 1040 сМ со средним расстоянием между маркерами 5,8 сМ. Генетическая длина отдельных хромосом варьировала от 1188 сМ (хромосома 3R) до 199,2 сМ (хромосома 5R). Наибольшая плотность локализированных маркеров выявлена для 1R и 5R хромосом, наименьшая – для 3R и 6R хромосом.

Созданная карта была использована для картирования индивидуальных генов, контролирующих ряд морфологических и хозяйственно ценных признаков – это гены, ответственные за высоту растений (*np, ct1, ct2, Ddw1*); гены самофертильности (*Sf, Zf, S5f*); гены восстановления мужской фертильности (*Rfg1*); гены, контролирующие 75К γ-секалины (*Sec2, Sec5*); образования воскового налета (*Wa1*); безлигульность (*al*) и др. Созданная генетическая карта является хорошей основой для идентификации и картирования локусов количественных признаков (QTL – *quantitative trait loci*) [16].

Выдающийся селекционер современности лауреат Нобелевской премии Норманн Борлауг утверждал, что сорт в производстве задерживается свыше пяти лет только там, где неудовлетворительно ведется селекция или плохо организовано семеноводство. С учетом современных требований в РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» разработана стратегия селекции озимой ржи (рис. 2).

В селекционных исследованиях предусматривается скрининг мирового генофонда, выделение источников и создание доноров селекционно-ценных признаков, методов использования в экспериментальной полиплоидии, гибридизации, целенаправленное формирование сложных гибридных популяций, выведение гетерозисных гибридов F_1 на основе ЦМС [17].

Стратегия селекционной работы по озимой ржи в Беларуси определяется на основании требований, которые предъявляет современное производство к сортам: высокий генетический потенциал продуктивности, стабильность урожая по годам в различных почвенно-климатических зонах, высокая технологичность, скороспелость, толерантность к болезням и вредителям, зимостойкость, получение зерна высокого качества для целевого использования. Задача селекции состоит в том, чтобы дать производству сорта ржи целевого направления, пригодные не только для хлебопечения, но и для использования на корм животным, получения спирта, крахмала, фармацевтических препаратов, биополимеров и т. д. Наряду с устойчивостью к прорастанию в селекции озимой ржи на качество важное значение имеет повышение содержания белка и улучшение аминокислотного состава. Прогресс в расширении использования ржи в питании человека и кормлении животных будет достигнут в том случае, если будут выведены сорта с ярко выраженными качественными характеристиками, подходящими для целевого использования. В существенном увеличении нуждается генетический потенциал продуктивности ржи, который уступает таковому у других зерновых культур [18].

Сравнительно недавно возникли новые требования к сортам: энергоэкономичность, экологическая чистота, безопасность возделывания. Во многих странах мира в последние годы растениеводство ориентируется не на максимальную, а на оптимальную, но устойчивую по годам

Рис. 2. Стратегические направления и методы селекции озимой ржи в Республике Беларусь

Fig. 2. Strategic directions and methods of winter rye breeding in the Republic of Belarus

урожайность (надежный урожай более желателен, чем максимальный), а проблему повышения экологической устойчивости сельского хозяйства включают в число важнейших национальных программ. Уменьшение объемов применения средств химизации сельского хозяйства, острый дефицит материально-энергетических ресурсов привели к резким колебаниям урожайности, потере толерантности, массовому поражению растений болезнями. В этой связи суть новой концепции развития селекции и приоритетных направлений исследований озимой ржи состоит в создании гетерогенных сортов и гибридов для биологического земледелия, обладающих повышенной адаптивностью и пластичностью, высокой стабильной урожайностью, отличающихся низкими энерго- и ресурсозатратами, а также в совершенствовании технологий ее возделывания, обработки и производства семян и расширения использования зерна ржи и продуктов переработки [19].

Поскольку в последние десятилетия происходит потепление климата, а также на фоне этого из года в год учащаются весенне-летние засухи, из-за чего возрастает вероятность появления вредителей, то производству требуются сорта с более широким спектром адаптивности, повышенной устойчивостью к недостатку влаги, полеганию, абиотическим стрессам. Только в этом случае потенциальную продуктивность созданных сортов и гибридов удается реализовать более полно. Благодаря широкому использованию доноров доминантно-моногенной и рецессивно-полигенной короткостебельности удалось в определенной мере решить проблему устойчивости озимой ржи к полеганию [20]. При возделывании данных сортов и гибридов озимой ржи потребность в химических средствах защиты растений сведена к минимуму, что позволяет экономить на каждом гектаре 35–40 долларов.

Развитие селекционного процесса озимой ржи в республике и практическое применение его ознаменовано созданием сортов диплоидной, тетраплоидной, а в последние годы сортов гибридной и зеленоукосной ржи.

В Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию создана система высокопродуктивных сортов с укороченным стеблем, зимостойких, с повышенной устойчивостью к полеганию и прорастанию зерна на корню для почв разного уровня плодородия. В Государственный

реестр сортов Республики Беларусь в 2021 г. включено 37 сортов и гибридов озимой ржи[1], из них 18 белорусской селекции: тетраплоидные – Полновесная, Пламя, Пралеска, Зазерская-3, Белая Вежа, Дзива, Росана, Камея 16; диплоидные – Лота, Алькора, Офелия, Паўлінка, Голубка; Укосная и Вердена (зеленоукосного направления), гибриды F_1 – ЛоБел-103, Галинка, Плиса. На 2022 г. включен новый гибрид F_1 Белги. Устаревшие сорта – Пуховчанка, Верасень, Игуменская, Сяброўка, Завея-2, Спадчына, Дубинская, Ясельда, Зуброўка, Зарница, Талисман, Юбилейная, Нива, Бирюза – с 2020 г. исключены из Государственного реестра сортов Республики Беларусь.

Из сортов иностранной селекции в Беларуси зарегистрированы немецкие гибриды F_1: Пикассо, КВС Боно, КВС Раво, Бонфаер, КВС Ливадо, ЗУ Драйв, ЗУ Мефисто, ЗУ Коссани, КВС Бинто, КВС Доларо, КВС Винетто, ЗУ Перформер, ЗУ Незри, ЗУ Форзетти, ЗУ Бендикс, КВС Серафино, КВС Пропоувер, КВС Лоретто и Пиано.

Сорта озимой ржи селекции Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию, районированные в Республике Беларусь, имеют достаточно высокий уровень потенциальной продуктивности. Среди диплоидных сортов урожайность, достигнутую в процессе сортоиспытания, на уровне 70–75 ц/га показывают сорта Офелия, Паўлінка, Голубка.

К лучшим тетраплоидным сортам, которые могут формировать урожайность на уровне 65–70 ц/га и выше, следует отнести следующие: Пламя, Пралеска, Зазерская-3, Белая Вежа, Росана, Камея 16. Высокой урожайностью на уровне 80–90 ц/га и выше отличается гибридная рожь белорусской селекции – ЛоБел-103, Галинка, Плиса и Белги; иностранной селекции – Пикассо, Зу Драйв, КВС Боно, КВС Раво.

Новые сорта озимой тетраплоидной ржи Веснянка и Жнейка хорошо зарекомендовали себя в Государственном сортоиспытании Российской Федерации. По результатам госсортоиспытания эти сорта в 2016–2017 гг. включены в Государственный реестр сортов Российской Федерации по 2-му и 3-му регионам.

Сорта ржи селекции Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию занимают около 88 % площадей, отводимых под эту культуру в нашей стране. Площади основных 11 валообразующих сортов предствлены на рис. 3.

Как видно на рис. 3, наибольший удельный вес составляют 5 сортов: Алькора, Офелия, Паўлінка (диплоидные); Пламя, Пралеска (тетраплоидные), остальные, включенные в Госреестр сорта ржи, не представленные на гистограмме, занимают площади менее 10 тыс. га каждый.

Следует отметить тенденцию к расширению площадей диплоидных сортов в Беларуси – в настоящее время они занимают 59 % всех посевов ржи (рис. 4), тогда как в начале 90-х годов прошлого века доминировали тетраплоидные сорта – их удельный вес составлял 90 %. В последние годы расширились площади возделывания гибридов F_1 ржи (12 %).

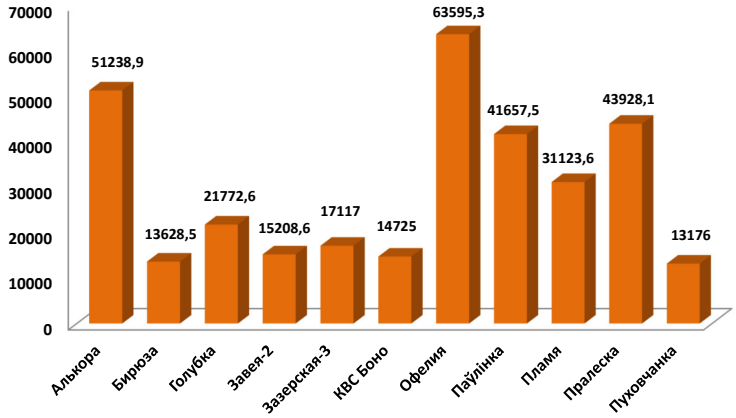

Рис. 3. Сортовой состав озимой ржи в Беларуси, 2021 г.

Fig. 3. Large composition of winter rye in Belarus, 2021

[1] Государственный реестр сортов / М-во сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь, Гос. инспекция по испытанию и охране сортов растений; ред. В. А. Бейня; сост.: Т. В. Семашко [и др.]. Минск: [б. и.], 2021. 268 с.

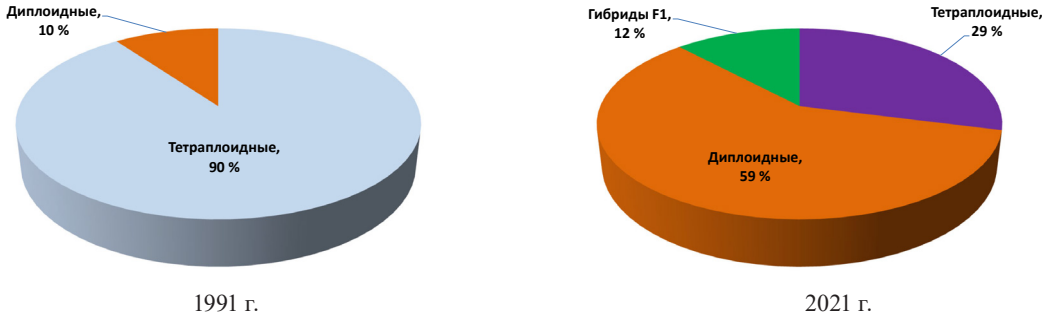

Рис. 4. Удельный вес тетраплоидных, диплоидных сортов и гибридов F_1 (диплоидных) ржи в сельскохозяйственном производстве Беларуси, 1991, 2021 гг.

Fig. 4. The proportion of tetraploid, diploid varieties and F_1 hybrids (diploid) rye in agriculturae production in Belarus, 1991, 2021

Рис. 5. Международное сотрудничество Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию с учреждениями стран ближнего и дальнего зарубежья по селекции озимой ржи

Fig. 5. International cooperation of the Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming with institutions of countries of near and far abroad on the winter rye breeding

В последние десятилетия ученые Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию активно сотрудничают с научными учреждениями соседних с Беларусью стран в области селекции озимой ржи и других сельскохозяйственных культур, проводят совместные экологические испытания новых сортов, научные совещания и международные конференции (рис. 5).

Заключение. В течение почти вековой истории развития селекции озимой ржи в стране достигнуты значительные результаты: создана система конкурентоспособных сортов продовольственного и кормового направления, соответствующие по своим хозяйственно ценным признакам мировым стандартам. Вместе с тем необходимо решение более новых задач в области генетики и селекции озимой ржи.

Для повышения генетического потенциала продуктивности одним из наиболее важных современных направлений является использование гетерозиса [21]. В странах Западной Европы та-

кие работы успешно проводятся уже в течение последних 40 лет. В результате созданы гетерозисные гибриды F_1 озимой ржи, которые в некоторых странах Европы занимают бóльшую часть площадей, отводимых под рожь (Германия, Дания, Швеция). В Беларуси исследования по созданию гетерозисных гибридов F_1 для озимой ржи ведутся с середины 90-х годов прошлого века [22]. Как описано выше, получено и включено в Государственный реестр сортов Республики Беларусь три гибрида F_1, а также на 2022 г. – новый белорусский гибрид F_1 Белги.

Вместе с тем на современном этапе развития молекулярных методов для повышения эффективности селекционного процесса необходимо более широкое использование следующих направлений: генные и хромосомные технологии; ДНК-маркерная селекция, ДНК-типирование, ДНК-диагностика; культура органов и тканей *in vitro* (эмбриокультура, андрогенез, гаплоидия, клональное микроразмножение) [23, 24].

Значимость таких исследований заключается не только в оценке большого объема нового исходного материала озимой ржи [25, 26], позволяющих сократить сроки создания сортов и гибридов, но также и в выявлении ряда фундаментальных аспектов.

Обобщая все вышеизложенное, можно заключить, что селекция новых сортов и особенно гибридов F_1 озимой ржи с использованием современных молекулярно-генетических методов является стратегически значимыми направлением как в отношении фундаментальных разработок, так и в практическом плане обеспечения продовольственной безопасности в условиях жесткой конкуренции со стороны стран Западной и Восточной Европы.

Благодарности. Работы по созданию новых сортов и гибридов озимой ржи и усовершенствованию методов селекционного процесса выполнялись в рамках различных программ: Государственная научно-техническая программа «Агропромкомплекс – возрождение и развитие села»; Государственная научно-техническая программа «Агропромкомплекс-2020», подпрограмма «Агропромкомплекс – эффективность и качество»; Государственная программа «Импортозамещение», Государственная программа «Инновационные биотехнологии» на 2009–2011 годы и на период до 2015 года, подпрограммы «Сельскохозяйственная биотехнология (Растениеводство)»; Государственная программа научных исследований «Инновационные технологии в АПК»; Государственная программа «Наукоемкие технологии и техника» на 2016–2020 годы, подпрограмма 1 «Инновационные биотехнологии – 2020»; Государственная программа научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства».

Acknowledgments. Works on creation of new varieties and hybrids of winter rye and improvement of the breeding process methods were performed within the framework of different research programs: State Research and Technical Program “Agropromkompleks – rural revival and development”; State Research and Technical Program “Agropromkompleks-2020”, subprogram “Agropromkompleks – efficiency and quality”, State Program “Import Substitution”, State Program “Innovative Biotechnologies” for 2009–2011 and up to 2015, subprograms “Agricultural biotechnology (Crop Science)”; State Program for Scientific Research “Innovative Technologies in Agro-Industrial Complex”; State program “High Technologies and Engineering” for 2016–2020, subprogram 1 “Innovative biotechnologies – 2020”; State Program for Scientific Research “Quality and Efficiency of Agricultural Production”.

Список использованных источников

1. Урбан, Э. П. Озимая рожь в Беларуси: селекция, семеноводство, технология возделывания / Э. П. Урбан. – Минск : Беларус. навука, 2009. – 269 с.

2. Методические подходы к созданию популяционных сортов озимой ржи разного целевого назначения / Е. И. Уткина [и др.] // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – № 6 (55). – С. 4–8.

3. Оценка сортов зерновых культур по показателям качества семян и стрессоустойчивости / О. В. Павлова [и др.] // Владимир. земледелец. – 2021. – № 2 (96). – С. 52–57. https://doi.org/10.24412/2225-2584-2021-2-52-57

4. Богомолов, А. М. Вопросы семеноводства озимой ржи в Белоруссии / А. М. Богомолов // Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений в Белоруссии / редкол.: Н. А. Дорожкин, А. И. Лаппо, Н. Д. Мухин. – Минск, 1961. – С. 53–62.

5. Урбан, Э. П. Озимая рожь / Э. П. Урбан, С. И. Гордей, И. А. Гордей // Генетические основы селекции растений : в 4 т. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т генетики и цитологии ; науч. ред.: А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск, 2010. – Т. 2 : Частная генетика растений. – С. 120–155.

6. Мухин, Н. Д. Селекционные пути повышения устойчивости озимой ржи против полегания / Н. Д. Мухин, Н. Ю. Семенова, Н. А. Соколова // Зерновые культуры интенсивного типа Нечерноземной зоны РСФСР : сб. науч. тр. / Сев.-Зап. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Л., 1979. – С. 3–8.

7. Щеглов, И. Я. Селекция озимой диплоидной ржи / И. Я. Щеглов, Н. Ю. Семенова // Новое в селекции, семеноводстве, технологии возделывания озимой ржи и опыт использования кампозана : тез. докл. V Всесоюз. науч.-ме-

lh^ kh_s KZjZlh\ ± bxey] <:KOGBE GZmq bkke_^ bg l k_e oha \Z X
[ueygkdbc hl\ j_± F b ^j @ ±
Wnn_dlb\ghklv f_lh^Z]b[jb^baZpbb \ kha^Zgbb khjlh\ ihimeypbc l_ljZiehb^gh
>b ^j @ A_fe_^_eb_ b jZkl_gb_\h^kl\h \ ;KKJ k[gZmq lj ±_Fbgkd gZmq
± <ui ± K ±
2ND]DNL . $SSOLFDWLRQ RI QLWURXV R[LGH JDV DV D SRO\SORLGL]LG
1 6KRWDURX + 2RWXND)ORULFXOWXUH 9RO 2UQDPHQWDO %LRWHFKQRORJ
I_jrbgZ E : H jheb hl^Ze_gghc]b[jb^baZpbb b ihebiehb^bb \ w\hexpbb jZ
Bgnhjf _klg ±H=bk L ± K ±
Fmobg G > Mkeh\by \ujZsb\Zgby b mjh`Zcgu_ dZq_kl\Z k_fyg ±Fbmfhc l_ljZie
obg < : EZ\jmdh\bq ,, <k_khxagh_ kh_sZgb_ ih k_e_dpbb k_f_gh\h^kl\m b ij
± bxgy] l_a ^hde Mdj gZmq bkke_^ bg l jZkl_gb_\h^kl\Z k_e_dpbb
>b ^j @ DZjvdh\ ± K ±
D_^jh\ AbofZg H H Ihemq_gb_ b bkihevah\Zgb_ ljbkhfbdh\ habfhc j`b H
dh± Fbgkd GZmdZ b l±ogbkZ
=_g_lbq_kdbc ZgZeba ljZgk]j_kkb\ghc baf_gqb\hklb ^biehb^guo jZkl_gbc
]_l_jhiehb^guo kdj_sb\Zgbc6hFbgkd GZmdZ b l±ogbkZ <: Dmevfbgkd Zy >b ^j @ >hde GZ
;_eZjm±kb ± L ± K ±
Gh\uc bklhqgbd kZfhn_jlbevghklb habfhc j`b H H D_^jh\ AbofZg >b ^j @
[Lye gZ±\md± ‹ ± K ±
DZjl_ev G : Fhe_dmeyjgh]_g_lbq_kdh_ dZjlbjh\Zgb_ aeZdh\uo dmevlmj
Pblheh]by b]_g_lbq_kdh_ dZjlbjh\Zgb_ aeZdh\uo dmevlmj ± K ±
$ JHQHWLF RSDFRO\UH RI DOHQLQJ 5)/3 LVR]\PH SURWHLQ PLFURVDWH
>HW DO @ 7KH RUHWLFDO 9RO $SSO ±KWWSV GRL RUJ V
+DUG]HL 6 3URVSHFWV DQG SUREOHPV RI K\EULG U\H EUHHGLQJ LQ %H
6FLHQFH ± 9RO ± 3 ±
;bheh]bq_kdb_ hkh[_gghklb ijh^mdlb\ghklb jZaebqguo k_e_dpbhggh]_g_lbc
: FDZj]Zlh\Z >b ^j @ Ba\ KZjZl mg lZ Gh\Zy k_j k_j ±Cbfby ±;Khehe±by Wdhe
hWWSV GRL RUJ
Ijygbrgbdh\ : B JZa\blb_ f_lh^h\ bkihevam_fuo \ k_e_dpbhgghf ijhp_kk_ \
kl_ : B Ijygbrgbdh\ J = KZcnmeebg K < Ey±s_\Z± ‹ :]jZK gZ±mq `mjg
I_ljh\p_\Z G : OZjZdl_j gZke_^h\Zgby ijbagZdh\ mklhcqb\hklb d ihe_]Zgb
^baZpbb k gh\uf dhjhldhkl_[_evguf khjlhf W\jbdZ G : I_ljh\p_\Z ? F ?kbf[Z_
]hk Z]jZj ±mg lZ ‹ ± K ± dhWWSV
*HLJHU + +\EULG U\H DQG KHWHURVLV + *HLJHU 7 0LHGDQHU *HQ
-* &RRUV 6± 3DDCGLVRQ 3 ± KWWSV GRL RUJ JHQHWLFVDQGH
+DUG]HL 6 +HWHURVLV LQ U\H 6 +DUG]HL 6\PSRVLXP RQ SODQW E
6ZLW]HUODQG ,QWHUQ 8QLRQ IRU WKH *3URWHFWLRQ RI 1HZ 9DULHWLHV R
Ijb\Zeh\ N B Hkgh\gu_ j_amevlZlu b i_jki_dlb\u bkihevah\Zgby -bhl_ogheh
ayckl_gguo dmevlmj N B Ijb\Zeh\ W I Mj[Zg K B =hj^_c Fhe_dmeyjgZy
lj Bg l]_g_lbdb b pblheh]bk ±Gbgk;d_e±Zjlmk±b K ±
Ijb\Zeh\ N B =_g_lbdh [bhl_ogheh]bq_kdb_ f_lh^u \ k_e_dpbhggh]_g_lbc
\Zeh\ K B =hj^_c GZm±dZ b ±bxgh\Z±pkb ±
Ihghfzj_\Z F E AgZq_gb_]_g_lbq_kdbo j_kmjkh\ habfhc j`b b b-o hp_gdZ
ebaZF E Ihghfzj_\Z K G Ihghfzj_\ = K FZggZih±\Z ±Mki_o±kh\j_f± gZmdb
Ihghfzj_\Z F E Bkoh^guc fZl_jbZe ^ey k_eFDOHb FHUHEOEb Ihghfzj_\Z
K Ghghfzj_\ = K FZggZih\Z ±s_klg± ‹DjZk±:K ±

5HIHUHQFHV

8UEDQL QWHU U\H LQ %HODUXV EUHHGLQJ VMHKGBeuUkayxmDWYLXRQ EHXOWLYL
SLQ 5XVVLDQ
8WNLQ 9R\OR ANVRYHGURIYB&KXJXQYRMethodical DSSURDFKHV of winterrye SRSXODWLRQ
YDULHWLHV IRU GLuHUHQWQDRDQGXNEF(WURQWLFXORXRDVWFHDHQFH (XUR 1R
QR SS LQ 5XVVLDQ
3DYORYD 29 0DUFKHQRYD / $ &KDYGDU 5) 2UORYD 7 * 6DYRVNLQD
LW\ DQG UHVLVWDQFH WR 9XQGDPRXVDE9HHRQHGLWDUHQW LQ RO
LQXVVLDQ KWWSV GRL RUJ
%RJRPRRY $ 0 ,VVXHV RI VHHG SURGXFWLRQ RI ZLQWHU UQR YLQG %WHOOR
YHQQ\NK UDVWHQ%LUHG%HQ RUXVVLHG SURGXFWLRQ RI DVNLFSXSOWXUDO SO
LQXVVLDQ
8UEDQ (3 *RUGHL 6 , *RHQHWLF SKHQRWHUXQRY\ VHOHNWVLL UDVWHQ
WHQ*HQHWLF EDVHV RI SODQW EUHHGLQJ 9RO SS3UYDQWHXJHQHWLFV RI SO

6. Mukhin N.D., Semenova N.Yu., Sokolova N. A. Breeding ways to increase the resistance of winter rye to lodging. *Zernovye kul'tury intensivnogo tipa Nechernozemnoi zony RSFSR: sbornik nauchnykh trudov* [Grain crops of the intensive type of the Non-Chernozem zone of the RSFSR: a collection of scientiýc papers]. Leningrad, 1979, pp. 3ï8 (in Russian).

7. Shcheglov I.Ya., Semenova N.Yu. Selection of winter diploid rye. *Novoe v selektsii, semenovodstve, tekhnologii vozdelyvaniya ozimoi rzhi i opyt ispol'zovaniya kampozana: tezisy dokladov V Vsesoyuznogo nauchno-metodicheskogo soveshchaniya, Saratov, 1–3 iyulya 1981 g.* [New developments in winter rye breeding, seed breeding, cultivation technology and experience of using camposan: abstracts of the 5th All-Union scientiýc and methodological conference, Saratov, July 1-3, 1981]. Moscow, 1981, pp. 28-31 (in Russian).

8. Mukhin N.D., Lavrukovich S.D., Lavrukovich V.A., Lapchenko V.P. Eƣectiveness of the hybridization method in the development of tetraploid winter rye breeding populations. *Zemledelie i rastenievodstvo v BSSR: sbornik nauchnykh trudov* [Agriculture and crop production in the BSSR: a collection of scientiýc papers]. Minsk, 1985, iss. 29, pp. 74-80 (in Russian).

9. Okazaki K., Shotarou N., Ootuka H. Application of nitrous oxide gas as a polyploidizing agent in tulip and lily breeding. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*, 2012, vol. 6, spec. iss. 2, pp. 39-43.

10. Pershina L.A. On the role of wide hybridization and polyploidy in plantsô evolution. *Informatsionnyi vestnik VOGiS = The Herld of Vavilov Society for Geneticists and Breeding Scientists*, 2009, vol. 13, no. 2, pp. 336-344 (in Russian).

11. Mukhin N.D., Lavrukovich V.A. Growing conditions and yield qualities of Belta winter tetraploid rye seeds. *II Vsesoyuznoe soveshchanie po selektsii, semenovodstvu i priemam vozdelyvaniya ozimoi rzhi, 28-30 iyunya 1971 g.: tezisy dokladov* [II All-Union meeting on winter rye breeding, seed production and cultivation practices, June 28-30, 1971: abstracts]. Kharkov, 1971, pp. 72-73 (in Russian).

12. Kedrov-Zikhman O.O., Shilko T.S. *Production and use of winter rye trisomyces*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 175 p. (in Russian).

13. Kulminskaya I.V., Gordei I.A., Ukrainko A.P., Shimko V.E. Genetic analysis of transgressive variability in diploid plants growth in progeny of heteroploid crosses of winter rye (*Secale cereale* L.). *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2003, vol. 47, no. 6, pp. 77-79 (in Russian).

14. Kedrov-Zikhman O.O., Belôko N.B., Sharepo T.I., Ponyatovskaya L.N. A new source of winter rye self-fertility. *Vestsi Akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* [Proceedings of the Academy of Sciences of BSSR. Biological series], 1986, no. 3, pp. 115-116 (in Russian).

15. Kartelô N.A., Malyshev S.V. Molecular-genetic mapping of cereals. *Tsitologiya i genetika = Cytology and Genetics*, 2000, vol. 34, no. 2, pp. 5-10 (in Russian).

16. Korzun V., Malyshev S., Voylokov A.V., Bºrner A. A genetic map of rye (*Secale cereale* L.) combining RFLP, isozyme, protein, microsatellite and gene loci. *Theoretical and Applied Genetics,* 2001, vol. 102, pp. 709-717. https://doi.org/10.1007/s001220051701

17. Hardzei S., Urban E. Prospects and problems of hybrid rye breeding in Belarus. *Plant Breeding and Seed Science*, 2003, vol. 47, no. İ, pp. 29-31.

18. Kargatova A.M., Stepanov S.A., Ermolaeva T.Y., Nuzhdina N.N. Biological characteristics of productivity of various breeding and genetic forms winter rye. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya = Izvestiya of Saratov University. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, no. 1, pp. 48-52 (in Russian). https://doi.org/10.18500/1816-9775-2017-17-1-48-52

19. Pryanishnikov A.I., Sayfullin R.G., Lyascheva S.V. The development of the techniques used in the selection process in the adaptive crop farming. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*, 2015, no. 10, pp. 20-23 (in Russian).

20. Petrovtseva N.A., Esimbaeva E.M., Kopyl T.V. Inheritance mode of winter rye lodging resistance in hybrids of new short-stem variety Evrika. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2019, no. 81, pp. 156-159 (in Russian). https://doi.org/10.21515/1999-1703-81-156-159

21. Geiger H., Miedaner T. Hybrid rye and heterosis. *Genetics and exploitation of heterosis in crops*. Madison, 1999, pp. 439-450. https://doi.org/10.2134/1999.geneticsandexploitation.c41

22. Hardzei S. Heterosis in rye. *Symposium on plant breeding for the future, October 21, 2011, Geneva, Switzerland*. Geneva, [2012], pp. 24-28.

23. Pryvalau F.I., Urban E.P., Hardzei S.I. The basic results and prospects of biotechnology use in breeding of agricultural crops. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika: sbornik nauchnykh trudov* [Molecular and applied genetics: collection of scientiýc papers]. Minsk, 2015, vol. 19, pp. 13-24 (in Russian).

24. Pryvalau F., Hardzei S. Genetic and biotechnological methods in crop breeding. *Nauka i innovatsii = Science & Innovations*, 2016, no. 6 (160), pp. 12-17 (in Russian).

25. Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Mannapova G.S. The value of the genetic resources of winter rye and their estimation methods multivariate analysis. *Uspekhi sovremennoi nauki* [Advances in Modern Science], 2017, vol. 1, no. 10, pp. 139-146 (in Russian).

26. Ponomareva M.L., Ponomarev S.N., Mannapova G.S. Initial material for winter rye (*Secale cereale* L.) selection. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KSAU*, 2018, no. 3 (138), pp. 19-24 (in Russian).

Информация об авторах

Урбан Эрома Петрович – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зам. генерального директора, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222160, Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: ozrozh@yandex,ru ; http://orcid.org/0000-0003-3736-4476

Гордей Станислав Иванович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий отделом озимых зерновых культур, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222160, Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: hardzeisi@tut.by ; https://orcid.org/0000-0001-7747-7403

Артюх Дмитрий Юрьевич – старший научный сотрудник отдела озимых зерновых культур, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222160, Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: art-dmitrij@mail.ru ; http://orcid.org/0000-0002-3549-8350

Гордей Игорь Станиславович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией цитогеномики, Институт генетики и цитологии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: i_gordej777@mail.ru ; http://orcid.org/0000-0003-1502-303X

Information about the authors

Eroma P. Urban – Corresponding Member, D. Sc. (Agricultural), Professor, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1, Timiryazeva Str., 222160, Zhodino, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: ozrozh@yandex.ru ; http://orcid.org/0000-0003-3736-4476

Stanislau I. Hardzei – Ph. D. (Biological), Associate Professor, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1, Timiryazeva Str., 222160, Zhodino, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: hardzeisi@tut.by ; https://orcid.org/0000-0001-7747-7403

Dzmitry U. Artjukh – Senior Researcher of the Winter Cereals Department, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1, Timiryazeva Str., 222160, Zhodino, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: art-dmitrij@mail.ru ; http://orcid.org/0000-0002-3549-8350

Igar S. Hardzei – Ph. D. (Biological), Institute of Genetics & Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: i_gordej777@mail.ru ; http://orcid.org/0000-0003-1502-303X