

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА
AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 633.14«324»:631.526.325:631.527.52(476)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-4-448-455>

Поступила в редакцию 12.06.2018
Received 12.06.2018

Э. П. Урбан, С. И. Гордей

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию, Жодино, Беларусь

СЕЛЕКЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ F₁ ОЗИМОЙ РЖИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Аннотация: Резервы гетерозисной селекции, эффективность которой, несомненно, выше, по культуре озимой ржи в Беларуси до сих пор использовались не в полной мере, поэтому создание гетерозисных гибридов F₁ озимой ржи в настоящее время является приоритетным направлением исследований в Республике Беларусь. В статье изложены основные результаты селекции ржи на гетерозис, обсуждаются проблемы возделывания гибридных сортов ржи в сельскохозяйственном производстве. Так, в Научно-практическом центре Национальной академии наук Беларуси по земледелию созданы первые линейно-популяционные гибриды F₁ озимой диплоидной ржи: Лобел-103, Галинка, Плиса и межлинейный гибрид Белги, которые в конкурсном сортоиспытании по урожайности превысили стандарт на 8,0–14,4 ц/га. Гибриды F₁ озимой ржи формируют более плотный стеблестой к моменту уборки, что обеспечивает повышение урожайности по сравнению со стандартом. В результате селекционных исследований на генетической основе белорусских высокоадаптивных популяций созданы системы ЦМС с высокой комбинационной способностью. Показано, что для ЦМС R-типа характерна высокая частота генов закрепления стерильности, в связи с чем не возникает проблем с поддержанием МС-форм в поколениях. Более трудоемким процессом является выделение восстановителей фертильности с высоким индексом восстановления и одновременно с высокой комбинационной способностью. Выявлены проблемы при возделывании гибридных сортов ржи, связанные с рядом генетических и почвенно-климатических причин.

Ключевые слова: селекция, озимая рожь, генотип, гетерозис, гибридный сорт, цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС), экологический гомеостаз, самоопыленная линия, МС-тестер, закрепитель стерильности, восстановитель фертильности

Для цитирования: Урбан, Э. П. Селекция и проблемы возделывания гетерозисных гибридов F₁ озимой ржи в Республике Беларусь / Э. П. Урбан, С. И. Гордей // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2018. – Т. 56, № 4. – С. 448–455. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-4-448-455>

E. P. Urban, S. I. Gordei

The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Belarus

BREEDING AND PROBLEMS OF CULTIVATION OF WINTER RYE F₁ HETEROISIS HYBRIDS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract: Reserves of heterosis breeding with efficiency undoubtedly higher, have not been fully applied regarding winter rye crop in Belarus, therefore the creation of heterosis F₁ hybrids of winter rye is currently a priority research area in the Republic of Belarus. The paper dwells on the main results of rye breeding for heterosis, discusses the problems of growing hybrid rye varieties in agricultural production. Thus, the first experimental line-population F₁ hybrids of winter diploid rye were developed at RUE “Scientific and Practical Centre of Belorussian NAS for Arable Farming”: Lobel-103, Galinka, Plisa and interline hybrid Belgi which in the competitive variety test exceeded the standard by 8.0–14.4 dt/ha. F₁ winter rye hybrids form more high stem density by the time of harvesting, which provides higher yields compared with the standard. As a result of breeding experiments on the genetic basis of the Belarusian highly adaptive populations, CMS systems with high combining ability have been created. It was shown that R-type CMS is characterized by high frequency of sterility fixation genes, and therefore there are no problems with maintaining MS-forms in generations. More labor-intensive process is allocation of fertility restorers with a high restore index and with a high combination capacity at the same time. Problems in the cultivation of hybrid varieties of rye associated with a number of genetic and soil-climatic causes were revealed.

Keywords: breeding, winter rye, genotype, heterosis, hybrid variety, cytoplasmic male sterility (CMS), ecological homeostasis, self-pollinated line, MS-tester, sterility fixer, fertility restorer

For citation: Urban E. P., Gordei S. I. Breeding and problems of cultivation of winter rye F_1 heterosis hybrids in the Republic of Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2018, vol. 56, no 3, pp. 448–455 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-4-448-455>

Введение. Крупнейшим достижением генетики и селекции является разработка теории гетерозиса и ее практическое использование. Опыт мировой селекции показывает, что использование гетерозиса является экономически эффективным приемом увеличения продуктивности растений [1–5].

Несмотря на то, что новые популяционные сорта ржи отличаются относительно высоким потенциалом урожайности, устойчивости к полеганию, в меньшей степени поражаются грибными болезнями, все же следует признать, что многие проблемы, касающиеся короткостебельности, зимостойкости, скороспелости, улучшения хлебопекарных и кормовых качеств, пока не решены или решаются очень медленно. Относительно медленный прогресс в селекции сортов популяций озимой ржи объясняется в основном использованием традиционных методов массового, индивидуального и семейного отборов, при которых отбираемый генотип контролируется только по материнской линии, а отцовский остается неизвестным [6–9].

Резервы гетерозисной селекции, эффективность которой, несомненно, выше, по культуре озимой ржи в Беларуси до сих пор использовались не в полной мере.

В системе адаптивной селекции методы создания гетерозисных гибридов заслуживают особого внимания. Гибриды F_1 в силу своей гетерозиготности имеют, как правило, более высокий экологический гомеостаз [10–12], что ведет к стабильности урожая. Получение селекционно-ценных инцухт-линий и системы ЦМС на основе разнообразного материала дает возможность более эффективно использовать генетический потенциал сортов популяций, создает предпосылки для повышения урожайности озимой ржи на 10–15 % и генетической защиты ее от воздействия неблагоприятных условий среды. Окупаемость затрат по гетерозисной селекции идет не только за счет прибавки урожая от эффекта гетерозиса, но и в результате увеличения отзывчивости гибридов (по сравнению с популяционными сортами) на различные приемы возделывания, создаваемые агротехникой [13].

Исследования, проведенные в Германии, показали, что гибриды можно с успехом возделывать на почвах с бонитированным баллом выше 23. По урожайности они превышают популяционные сорта даже на самых легких песчаных почвах в годы с нормальным количеством осадков. Так как стоимость семенного материала гибридов ржи составляет около 55–65 евро/ц, то для покрытия издержек необходимо получить прибавку урожая около 5,0 ц/га. Это возможно на землях с потенциальной урожайностью не менее 40,0 ц/га. При более высоком потенциале (50,0 ц/га и выше) возделывание гибридной ржи является единственно правильным решением [14].

Возможность использования цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) для получения гетерозисных гибридов появилась с открытием источников ЦМС: R-типа и P-типа [1, 15].

Первые коммерческие гетерозисные гибриды F_1 озимой ржи, появившиеся в Германии в 1984 г., показали неоспоримые их преимущества над сортами-популяциями в производстве. Если в 1995 г. в Германии гибриды F_1 занимали 49 % всех посевов ржи, а средняя урожайность их составляла 52,0 ц/га, то в 2003 г. 20 коммерческих гибридов занимали уже более 60 % площадей. Такой же удельный вес гибридных сортов сохраняется и в настоящее время. Опыты по сортоиспытанию в ФРГ показали, что по урожайности гетерозисные гибриды превышают популяционные сорта в среднем на 15 %. При уровне урожайности 70,0 ц/га средняя прибавка урожая у гибридов F_1 составляет 10 ц/га. Использовать этот важный резерв повышения урожайности в условиях Беларуси чрезвычайно важно, особенно в Гродненской, Брестской, Минской и других областях, где имеются весомые экономические и экологические предпосылки для возделывания гибридов F_1 озимой ржи.

Учитывая большое разнообразие почвенно-климатических условий Республики Беларусь, селекционерам предстоит решить ряд сложных задач. Важнейшими из них являются: *получение* инбредных линий с хорошей адаптацией к местным условиям, высокой собственной продуктивностью и комбинационной способностью; *перевод* их на стерильную основу; *выделение* эффективных закрепителей стерильности и восстановителей фертильности. При этом необходимо учитывать, что рожь – озимая культура, она склонна к вымерзанию, поражению многими

болезнями, полеганию и прорастанию «на корню», имеет относительно низкий коэффициент размножения. Надо полагать, что у инбредных линий все эти недостатки будут проявляться намного сильнее, чем у популяционных сортов [16, 17]. Поэтому важнейшей задачей селекции является устранение перечисленных слабых мест, чтобы семеноводство будущих коммерческих гибридов было рентабельным и устойчивым.

Следует отметить, что многие вопросы в селекции гибридов F_1 ржи уже решены. Благодаря фундаментальным разработкам немецких, польских и других исследователей появилась возможность на основе использования эффективных доноров самофертильности и восстановителей фертильности в стерильной цитоплазме создать все необходимые компоненты для синтеза высокогетерозисных гибридов F_1 [18, 19].

Немецкие исследователи Н. Н. Geiger и F. Shnell в 1968 г. обнаружили первые ЦМС – формы в популяции аргентинского сорта ржи Рампа (тип Р). Этот источник ЦМС получил наибольшее использование в практической селекции гибридной ржи. Его отличительной особенностью является то, что у большинства возделываемых сортов ржи гены – восстановители фертильности Rf встречаются с низкой частотой (3,5 %), а гены – закрепители стерильности rf – с высокой частотой (85 %) [20].

В. Д. Кобылянским у сортов северорусской экологической группы был обнаружен новый тип ЦМС – R-тип (русский). Для этого типа легко найти восстановители и трудно закрепители стерильности.

Большинство коммерческих гибридов, выведенных в Германии, Польше, Украине, получены на цитоплазме Р-типа.

В 2000 г. прошел регистрацию первый немецко-польский гибрид Novus, созданный на цитоплазме G-типа (синоним R-типа), т.е. доказана селекционная ценность моногенного типа ЦМС [21].

Цель настоящей работы – осветить значимость селекции гетерозисных гибридов F_1 ржи, изложить основные результаты селекции ржи на гетерозис и проблемы выращивания гибридных сортов этой культуры в сельскохозяйственном производстве Республики Беларусь.

Основная часть. Селекция гибридов F_1 ржи актуальна и для Беларуси. Результаты исследований показали, что гибриды F_1 достоверно превышали по продуктивности популяционные сорта, а средний уровень гетерозиса составлял 14–15 %. Следует также отметить, что гибриды более выровнены, устойчивы к полеганию, однако по зимостойкости уступают сортам местной селекции. По устойчивости к основным болезням (мучнистой росе, бурой ржавчине, спорынье), гибриды не уступали популяционным сортам (табл. 1).

Как видно из табл. 1, эффект гетерозиса по зерновой продуктивности обусловлен повышенной продуктивной кустистостью, формированием более плотного продуктивного стеблестоя, более высокой озерненностью колоса.

Общая схема селекции гибридов F_1 озимой ржи относительно проста (рис. 1). Согласно концепции Н. Н. Geiger, исходный материал для получения материнских и отцовских родительских форм должен обладать высокой продуктивностью и происходить из различных генпулов. Последнее является особенно важным для максимального проявления гетерозиса. При этом материнский родитель должен быть надежно отселектирован на закрепление стерильности, а отцовский – на восстановление фертильности. Для получения самоопыленных линий методом инцухта используются только самосовместимые формы. Если исходная популяция самонесовместимая, то необходимо предварительно провести скрещивание с донором самофертильности.

Производство гибридных семян начинается с размножения линий А (стерильный аналог и его закрепитель), фертильной линии Б и синтетика-восстановителя фертильности в условиях строгой изоляции (так называемое предбазисное семеноводство).

Оптимальная структура гибрида F_1 озимой ржи может быть определена по такой формуле:

$$(A \times B) \times C,$$

где А – стерильная инбредная линия с ЦМС (S) gfrf; Б – фертильная инбредная линия-закрепитель стерильности с нормальной цитоплазмой (N) gfrf; С – восстановитель фертильности, состоящий из 2–3 инбредных линий, являющихся носителями генов Rf (N) RfRf; А × Б – простой стерильный гибрид (S) gfrf.

Таблица 1. Сравнительная характеристика продуктивности сортов и гибридов (F₁) озимой ржи в конкурсном сортоиспытании, 2008–2017 гг.Table 1. Comparative characteristics of winter rye varieties and hybrids (F₁) performance in variety competitive experiment, 2008–2017

Сорт	Урожайность		Число продуктивных стеблей, шт/м ²	Число зерен в колосе, шт.	Озерненность колоса, %	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
	ц/га	в % к сорту Верасень					
<i>Тетраплоидные сорта</i>							
Верасень – стандарт	63,4	100	386	36,1	60,8	1,57	43,7
Сяброўка	61,3	96,7	388	33,4	54,6	1,33	41,0
Спадчына	63,3	99,8	326	33,0	58,1	1,46	41,2
Зався-2	63,2	99,7	426	36,0	62,2	1,44	41,9
Игуменская	59,8	94,3	390	34,5	60,3	1,46	41,4
Пуховчанка	48,5	76,5	356	33,4	63,2	1,36	40,2
Дубинская	53,4	84,2	368	35,3	67,2	1,40	39,5
Среднее	59,0	93,0	377,1	34,2	60,9	1,43	41,3
<i>Диплоидные сорта</i>							
Радзіма	60,6	95,6	561	42,5	63,7	1,26	30,4
Зуброўка	61,6	97,1	471	39,2	64,0	1,32	30,1
Талисман	62,3	98,2	468	40,4	69,5	1,45	30,2
Калинка	58,6	92,4	478	38,0	62,7	1,43	31,6
Ясельда	59,3	93,5	518	37,7	67,2	1,27	30,2
Зарница	66,2	104,4	537	44,1	78,3	1,40	32,4
Среднее	61,4	97,5	506	40,3	67,6	1,36	30,8
<i>Гибриды F₁</i>							
Picasso	73,4	115,8	606	41,5	71,8	1,28	31,2
Fernando	78,0	123,0	650	37,5	68,2	1,23	31,6
Esprit	67,3	106,2	590	44,3	80,1	1,24	30,3
Среднее	72,9	115,0	615,3	41,1	73,4	1,25	30,7
HCP ₀₅ , ц/га	3,4						

Размножение ЦМС – простого гибрида А×Б – производится в поле при посеве в соотношении 3 материнских к 1 отцовскому (т.е. базисное семеноводство).

Коммерческие гибридные семена получают путем смешивания семян стерильного гибрида А×Б с семенами синтетика-восстановителя С в соотношении 95:5. Чтобы избежать риска генетического засорения, многие немецкие селекционные фирмы производят гибридные семена за границей в странах, где не возделывают рожь.

В настоящее время в РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию» ведется работа по выведению гибридных сортов на генетической основе белорусских популяций с использованием ЦМС Р-типа.

Важным этапом в селекции гибридной ржи является создание высокопродуктивных инбредных линий. Долгие годы эту проблему решить не удавалось по причине сильной депрессии при инцукте, которая у ржи проявляется по многим элементам продуктивности. В настоящее время для селекции инбредных линий ржи исследователями широко используются схемы, предложенные профессором Н. Geiger.

Экспериментально доказано, что при селекции инбредных линий важнейшей задачей является ранний (начиная с поколения S₁) отбор по собственной продуктивности (*per se*), а затем по общей и специфической комбинационной способности.

Главными критериями оценки создаваемых самоопыленных линий являются: абсолютная закрепительная способность линий, автофертильность, высокое проявление хозяйственно ценных признаков и высокая комбинационная способность по урожайности зерна.

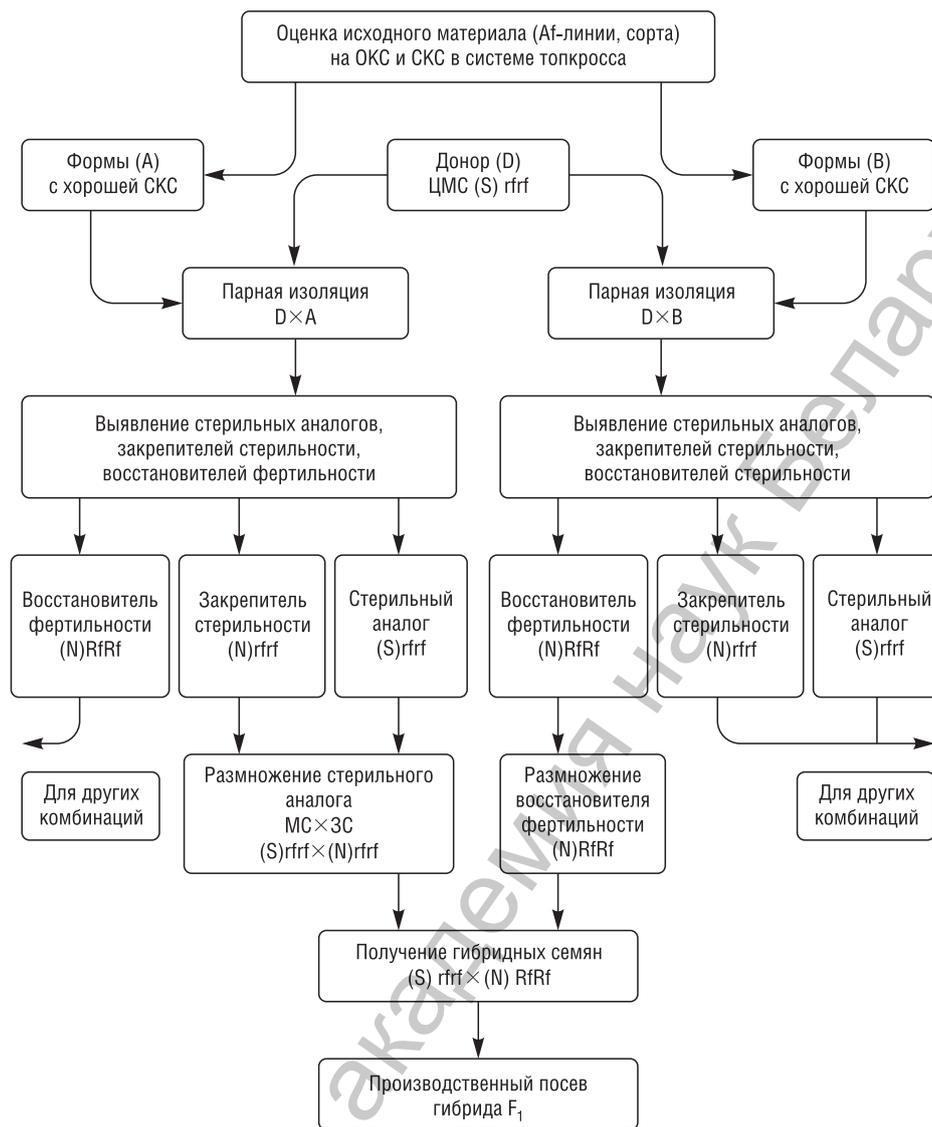


Рис. 1. Схема создания гибридной ржи на основе ЦМС, используемая в Научно-практическом центре НАН Беларуси по земледелию

Fig. 1. Strategy for creating hybrid rye based on CMS used at Research and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming

Для условий Беларуси особую важность представляет создание зимостойких, короткостебельных, высокопродуктивных инбредных линий с сильной экспрессией признаков, сочетающих хорошие хлебопекарные и кормовые качества зерна.

Самоопыленные линии создаются на ранее выделенных по высокой специфической комбинационной способности сортовых популяциях – генетических пулах: Калинка, Ясельда, Радзіма, Зарница, Лота, ТПР-2 и др. Работа проводится совместно с Институтом генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси.

На первом этапе в качестве доноров самофертильности использовались польские линии, а также инцухт-линии из собственной коллекции Института генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси. Источники самофертильности использовались в качестве материнских форм, а в качестве отцовских – высокопродуктивные сорта-популяции и перспективные сортообразцы собственной селекции. В 2004 г. изучено 112 инбредных линий в питомнике микроиспытания по комплексу хозяйственно ценных признаков и свойств. На фоне поражения линий снежной плесенью, изреженности в процессе зимовки удалось выделить относительно устойчивые линии, которые используются в качестве исходного материала для выведения гетерозисных гибридов.

В результате селекционных исследований на генетической основе белорусских высокоадаптивных популяций созданы системы ЦМС с высокой комбинационной способностью.

Выявлено, что для ЦМС Р-типа характерна высокая частота генов закрепления стерильности, в связи с чем не возникает проблем с поддержанием МС-форм в поколениях. Более трудоемким процессом является выделение восстановителей фертильности с высоким индексом восстановления и одновременно с высокой комбинационной способностью.

Анализ литературных данных показывает, что формы с высоким индексом восстановления, как правило, характеризуются недостаточно высокой комбинационной способностью. Используемые в настоящее время восстановители фертильности (сорта-синтетики) для создания коммерческих гибридов имеют относительно низкий индекс восстановления, что часто приводит к череззернице и восприимчивости к спорынье. Следовательно, актуальным направлением наших исследований является разработка новых методов (включая генную инженерию и биотехнологию), создание восстановителей фертильности с высоким индексом восстановления и высокой комбинационной способностью для ЦМС Р-типа.

Использование популяций, обладающих высокой восстановительной способностью, создает возможность избежать длительного процесса селекции восстановителей.

Сорта-популяции отечественной селекции обладают высокой адаптивностью и экологической пластичностью, что позволяет значительно расширить генетическую основу исходного материала, которая нужна для реализации гетерозиса гибридов F_1 .

В настоящее время селекционерами еще не решен полностью вопрос о том, какой тип гибридного сорта ржи наиболее оптимален с точки зрения полноты использования гетерозисного эффекта, экономической выгоды и фенотипической стабильности. Первые допущенные к использованию гибриды по своей структуре сравнительно сложны: материнская форма представляет простой гибрид от скрещивания ЦМС – инбредной линии и неродственной линии-закрепителя, а отцовская форма – синтетик из лучших линий-восстановителей.

Простые межлинейные гибриды, растения которых представлены одним генотипом, характеризуются выровненностью и высоким эффектом гетерозиса. Однако низкая экологическая пластичность, высокие требования к соблюдению всех элементов технологии производства гибридных семян создают определенные трудности при внедрении простых гибридов в почвенно-климатических зонах с жесткими погодными условиями и при низком уровне агротехники.

В результате совместной работы с селекционной фирмой Lohov-Petcus (Германия) в Научно-практическом центре Национальной академии наук Беларуси по земледелию» созданы первые экспериментальные линейно-популяционные гибриды F_1 озимой диплоидной ржи: Лобел-103, Лобел-203, Лобел-303, которые в конкурсном сортоиспытании по урожайности превысили стандарт на 8,0–14,4 ц/га. Линейно-популяционные гибриды (F_1) озимой ржи характеризуются короткостебельностью, устойчивостью к полеганию, повышенной озерненностью колоса, формируют более плотный стеблестой к моменту уборки, что обеспечивает повышение урожайности на 8,0–14,4 ц/га по сравнению со стандартом.

С 2011 г. в госреестр нашей Республики включен первый белорусский гибридный сорт ржи Плиса.

Заключение. Создание высокогетерозисных гибридов озимой ржи и разработка схемы семеноводства еще не достаточны для внедрения их в производство. В значительной мере это зависит от ряда требований, предъявляемых к гибридным сортам.

Основное преимущество гибридных сортов ржи – более высокий урожай зерна по сравнению с популяционными сортами. Однако необходимо учесть некоторые ограничения при использовании гибридной ржи в сельскохозяйственном производстве.

Для наиболее полной реализации генетически обусловленного потенциала продуктивности гибридных сортов требуются более богатые почвы и высокий уровень технологии возделывания по сравнению с требованиями к популяционным сортам. На бедных песчаных почвах гибриды F_1 не дадут прибавки по урожайности над популяционными сортами.

Выращивание потомства F_2 не эффективно из-за снижения уровня гетерозиса на 25–50 % в зависимости от сорта. Также зачастую существенным ограничением при выращивании ряда гибридных сортов ржи является недостаток пыльцы, что приводит к череззернице, особенно при дождливой погоде во время цветения и, как следствие, к сильному поражению спорыньей.

Применительно для Республики Беларусь сегодня высокую рентабельность при возделывании гибридов ржи могут иметь лишь экономически сильные хозяйства, которые достигли уровня урожайности 45,0 ц/га и более. Однако в будущем доля таких хозяйств будет постепенно возрастать и площадь под гибридами ржи в Беларуси может составить порядка 35–45 тыс. га, или около 10–15 % всех посевов ржи.

Список использованных источников

1. Кобылянский, В. Д. Рожь. Генетические основы селекции / В. Д. Кобылянский. – М. : Колос, 1982. – 271 с.
2. Heterosis of factorial inter-pool-single cross among elite winter rye inbred lines / H. H. Geiger [et al.] // Proceedings of the EUCARPIA rye meeting, July 4–7, 2001, Radzików, Poland / Plant Breeding a. Acclimatization Inst. ; ed. R. Osiński. – Radzików, 2002. – P. 19–22.
3. Geiger, H. H. Hybrid rye and heterosis / H. H. Geiger, T. Miedaner // The genetics and exploitation of heterosis in crops / ed.: J. G. Coors, S. Pandey. – Madison, 1999. – P. 439–450. doi:10.2134/1999.geneticsandexploitation.c41
4. Костов, К. В. Перспективы селекции гибридов зерновых культур / К. В. Костов, С. В. Гончаров // Тр. Куб. гос. аграр. ун-та. – 2016. – № 59. – С. 209–216.
5. Корень, Л. В. Оценка влияния степени генетической дивергенции родительских форм на уровень гетерозиса F1 гибридов озимой тритикале / Л. В. Корень, О. А. Орловская, Л. В. Хотылева // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. біял. навук. – 2013. – № 1. – С. 30–36.
6. Исмагилов, Р. В. Особенности формирования хлебопекарных свойств зерна озимой ржи / Р. В. Исмагилов // Новые методы селекции озимых колосовых культур : сб. науч. тр. / Башк. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва ; редкол.: И. Т. Шаяхметов [и др.]. – Уфа, 2001. – С. 36–40.
7. Oberforster, M. Erfolgreich mit Roggen, Triticale und Winterweizen / M. Oberforster, G. Marco // Fortschr. Landmirt. – 1998. – N 18. – P. 25–31.
8. Arseniuk, E. Rye production and breeding in Poland / E. Arseniuk, T. Oleksiak // Plant Breeding a. Seed Science. – 2003. – Vol. 47, N 1–2. – P. 7–16.
9. Кобылянский, В. Д. Использование доноров ценных признаков растений в селекции новых сортов озимой ржи / В. Д. Кобылянский, О. В. Солодухина // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 7. – С. 7–12.
10. Пономарев, С. Н. Гетерозис у F₁ гибридов озимой ржи, полученных с использованием ЦМС / С. Н. Пономарев, Ф. С. Кудряшева // Науч.-техн. бюл. Всерос. науч.-исслед. ин-та растениеводства им. Н. И. Вавилова. – Санкт-Петербург, 1992. – Вып. 223 : Генофонд культурных растений для целей селекции. – С. 24–26.
11. Пономарев, С. Н. Гетерозис у озимой ржи и пути его реализации / С. Н. Пономарев // Актуальные проблемы развития прикладных исследований и пути повышения их эффективности в сельскохозяйственном производстве : материалы междунар. науч.-практ. конф., Казань, 10–12 июля 2000 г. / Тат. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва. – Казань, 2001. – С. 78–81.
12. Пономарев, С. Н. Проблемы и перспективы селекции озимой ржи на гетерозис / С. Н. Пономарев, М. Л. Пономарева // Вопросы селекции, семеноводства и технологии возделывания озимой ржи в России : тез. докл. Всерос. науч.-метод. совещ. / Самар. науч.-исслед. ин-т сел. хоз-ва ; ред.: А. А. Гончаренко, С. Н. Шевченко. – Самара, 2000. – С. 41–42.
13. Новые сорта озимой ржи / А. А. Гончаренко [и др.] // Вестн. семеноводства в СНГ. – 2001. – № 3. – С. 16–17.
14. Урбан, Э. П. Озимая рожь в Беларуси (селекция, семеноводство, технология возделывания) / Э. П. Урбан. – Минск : Беларус. навука, 2009. – 269 с.
15. Geiger, H. H. Cytoplasmic male sterility in rye (*Secale cereale* L.) / H. H. Geiger, F. W. Schnell // Crop Science. – 1970. – Vol. 10, N 5. – P. 590–593. <https://doi.org/10.2135/cropsci1970.0011183x001000050043x>
16. Гордей, С. И. Селекционно-генетические аспекты использования эффекта гетерозиса у озимой ржи (*Secale cereale* L.) / С. И. Гордей // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. біял. навук. – 2002. – № 1. – С. 103–108.
17. Hardzei, S. Prospects and problems of hybrid rye breeding in Belarus / S. Hardzei, E. Urban // Plant Breeding a. Seed Science. – 2003. – Vol. 47, N 1–2. – P. 29–31.
18. Шлегель, Р. Селекция гибридных форм как стимул развития молекулярно-генетических исследований у ржи / Р. Шлегель // Вавил. журн. генетики и селекции. – 2015. – Т. 19, № 5. – С. 589–603. <https://doi.org/10.18699/VJ15.076>
19. Изучение комбинационной способности инбредных линий озимой ржи по методу топкросса / А. А. Гончаренко [и др.] // Зерновое хоз-во России. – 2017. – № 5. – С. 1–8.
20. Madej, L. Ocena plodnosci mieszanow zyta / L. Madej, R. Osinski, J. Jagodinski // Biul. Inst. Hodowli i Aklimatyzacji Roslin. – 1995. – N 195/196. – S. 283–290.
21. Melz, G. Genetics of a male-sterile rye of “G-type” with results of the first F1 hybrids / G. Melz, Gu. Melz, F. Hartmann // Proceedings of the EUCARPIA rye meeting, July 4–7, 2001, Radzików, Poland / Plant Breeding a. Acclimatization Inst. ; ed. R. Osiński. – Radzików, 2002. – P. 43–50.

References

1. Kobylyanskii V. D. *Rye. Genetic bases of breeding*. Moscow, Kolos Publ., 1982. 271 p. (in Russian).
2. Geiger H. H., Wilde P., Erfurt M., Pakas J. Heterosis of factorial inter-pool-single cross among elite winter rye inbred lines. *Proceedings of the EUCARPIA rye meeting, July 4–7, 2001, Radzików, Poland*. Radzików, 2002, pp. 19–22.
3. Geiger H. H., Miedaner T. Hybrid rye and heterosis. *The genetics and exploitation of heterosis in crops*. Madison, 1999, pp. 439–450. doi:10.2134/1999.geneticsandexploitation.c41

4. Kostov K. V., Goncharov S. V. Prospects of cereals hybrid breeding. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, 2016, no. 59, pp. 209–216 (in Russian).
5. Koren' L. V., Orlovskaya O. A., Khotyleva L. V. Evaluation of impact of parents genetic divergence on heterosis of F₁-hybrids winter triticale. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2013, no. 1, pp. 30–36 (in Russian).
6. Ismagilov R. V. Peculiarities of formation of baking properties of winter rye grain. *New methods for the selection of winter cereal crops: a collection of scientific papers [Novye metody seleksii ozimyykh kolosovykh kul'tur: sbornik nauchnykh trudov]*. Ufa, 2001, pp. 36–40 (in Russian).
7. Oberforster M., Marco G. Erfolgreich mit Roggen, Triticale und Winterweizen. *Fortschr. Landmirt*, 1998, no 18, pp. 25–31.
8. Arseniuk E., Oleksiak T. Rye production and breeding in Poland. *Plant Breeding and Seed Science*, 2003, vol. 47, no. 1–2, pp. 7–16.
9. Kobylyanskii V. D., Solodukhina O. V. Use of donors of valuable traits of plants in breeding of new varieties of winter rye. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of Science and Technology of AIC]*, 2015, no. 7, pp. 7–12 (in Russian).
10. Ponomarev S. N., Kudryasheva F. S. Heterosis in F₁ winter rye hybrids obtained with the use of CMS. *Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rasteniievodstva im. N. I. Vavilova. Vyp. 223. Genofond kul'turnykh rastenii dlya tselei seleksii [Scientific and technical bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Plant Industry named after N.I. Vavilova. Iss. 223. Crop plant gene pool for breeding purposes]*. St. Petersburg, 1992, pp. 24–26 (in Russian).
11. Ponomarev S. N. Heterosis in winter rye and the ways of its implementation. *Aktual'nye problemy razvitiya prikladnykh issledovaniy i puti povysheniya ikh effektivnosti v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kazan', 10–12 iyulya 2000 g. [Current issues of the development of applied research and the ways to improve their efficiency in agricultural production: materials of the international scientific-practical conference, Kazan, July 10–12, 2000]*. Kazan, 2001, pp. 78–81 (in Russian).
12. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L. Problems and prospects of winter rye breeding for heterosis. *Voprosy seleksii, semenovodstva i tekhnologii vozdeleyvaniya ozimoi rzi v Rossii: tezisy dokladov Vserossiiskogo nauchno-metodicheskogo soveshchaniya [Issues of breeding, seed production and technology of winter rye cultivation in Russia: theses of reports of the All-Russian Scientific and Methodological Meeting]*. Samara, 2000, pp. 41–42 (in Russian).
13. Goncharenko A. A., Ermakov S. A., Semenova T. V., Makarov A. V., Tochilin V. N., Sharakhov A. A. New varieties of winter rye. *Vestnik semenovodstva v SNG [Bulletin of seed production in the CIS]*, 2001, no. 3, pp. 16–17 (in Russian).
14. Urban E. P. *Winter rye in Belarus (breeding, seed production, cultivation technology)*. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 269 p. (in Russian).
15. Geiger H. H., Schnell F. W. Cytoplasmic male sterility in rye (*Secale cereale L.*). *Crop Science*, 1970, vol. 10, no. 5, pp. 590–593. <https://doi.org/10.2135/cropsci1970.0011183x001000050043x>
16. Gordei S. I. Selective and genetic aspects of using the heterosis effect in winter rye (*Secale cereale L.*). *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2002, no. 1, pp. 103–108 (in Russian).
17. Hardzei S., Urban E. Prospects and problems of hybrid rye breeding in Belarus. *Plant Breeding and Seed Science*, 2003, vol. 47, no. 1–2, pp. 29–31.
18. Shlegel' R. Hybrid breeding boosted molecular genetics in rye. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2015, vol. 19, no. 5, pp. 589–603 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ15.076>
19. Goncharenko A. A., Ermakov S. A., Makarov A. V., Semenova T. V., Tochilin V. N., Krakhmaleva O. V. The study of the combining ability of the inbred lines of winter rye according to top-crossing method. *Zernovoe khozyaistvo Rossii = Grain Economy of Russia*, 2017, no. 5, pp. 1–8 (in Russian).
20. Madej L., Osinski R., Jagodinski J. Ocena plodnosci mieszanow zyta. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roslin*, 1995, no. 195/196, pp. 283–290.
21. Melz Gi., Melz Gu., Hartmann F. Genetics of a male-sterile rye of “G-type” with results of the first F₁ hybrids. *Proceedings of the EUCARPIA rye meeting, July 4–7, 2001, Radzików, Poland*. Radzików, 2002, pp. 43–50.

Информация об авторах

Урбан Эрома Петрович – член-корреспондент, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель генерального директора, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222160 Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: ozrozhh@yandex.ru

Гордей Станислав Иванович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией озимой пшеницы, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию (ул. Тимирязева, 1, 222160 Жодино, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: hardzeisi@tut.by

Information about the authors

Urban Eroma P. – Corresponding Member, D.Sc. (Agriculture), Professor. The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1 Timiryazeva Str., Zhodino, Minsk Region 222160, Republic of Belarus). E-mail: ozrozhh@yandex.ru

Gordei Stanislav I. – Ph.D. (Agriculture). The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming (1 Timiryazeva Str., Zhodino, Minsk Region 222160, Republic of Belarus). E-mail: hardzeisi@tut.by