

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)

В. Д. Кобылянский, О. В. Солодухина

**ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА
РЖИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДОРАСТВОРИМЫХ
ПЕНТОЗАНОВ В ЗЕРНЕ**

Санкт-Петербург
2023

УДК 633.14:631.527:581.19
ББК 42.112.4
К55

Утверждено к печати Ученым советом ВИР (протокол № 18 от 06 октября 2022 г.)

Авторы:

д-р биол. наук **В. Д. Кобылянский**, д-р биол. наук **О. В. Солодухина**
Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических
ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР)

Рецензенты:

д-р биол. наук **Эдуард Балилович Хатефов** (ВИР)
канд. с.-х. наук **Евгений Валерьевич Зуев** (ВИР)

Под научной редакцией д-ра биол. наук **И. Г. Лоскутова** (ВИР)

Кобылянский, Владимир Дмитриевич.

К55 Технология селекции и семеноводства ржи универсального использования с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне / В. Д. Кобылянский, О. В. Солодухина ; под научной редакцией И. Г. Лоскутова ; Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова. – Санкт-Петербург : ВИР, 2023. – 28 с.

ISBN 978-5-907145-57-3

Разработанная технология представляет собой результат научных исследований, проведенных сотрудниками Федерального исследовательского центра Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) за период 2004–2021 гг. С использованием результатов теоретических и прикладных исследований разработаны методы дифференциации исходного материала по признаку низкого содержания водорастворимых пентозанов (арабиноксиланов) в зерне, сформулированы стратегия и технология селекции и семеноводства низкопентозановой ржи универсального использования в хлебопекарной, комбикормовой и перерабатывающей промышленности. Применение технологии впервые позволяет создавать сорта ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне при малых финансовых затратах. Подтверждением этого являются шесть сортов новой популяционной ржи, созданных для различных регионов России, не имеющих мировых аналогов, которые занесены в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений РФ.

УДК 633.14:631.527:581.19
ББК 42.112.4

ISBN 978-5-907145-57-3
DOI 10.30901/978-5-907145-57-3

© Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических
ресурсов растений имени Н.И. Вавилова
(ВИР), 2023
© Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., 2023

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal Research Center
the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)

Vladimir D. Kobylyansky, Olga V. Solodukhina

**BREEDING AND SEED PRODUCTION TECHNOLOGY FOR
THE RYE OF UNIVERSAL USE WITH LOW CONTENT OF
WATER-SOLUBLE PENTOSANS IN GRAIN**

St. Petersburg
2023

Endorsed for publication by the Scientific Council of VIR (Minute No. 18 of October 06, 2022)

Authors:

Vladimir D. Kobylyansky, Dr. Biol. Sci.;

Olga V. Solodukhina, Dr. Biol. Sci.

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)

Reviewers:

Eduard B. Khatefov, Dr. Biol. Sci., (VIR);

Evgeny V. Zuev, PhD (Agric. Sci.), (VIR)

Scientific editor: **Igor G. Loskutov**, Dr. Biol. Sci., (VIR)

Kobylyansky, Vladimir D.

Breeding and seed production technology for the rye of universal use with low content of water-soluble pentosans in grain / V. D. Kobylyansky, O. V. Solodukhina ; I. G. Loskutov, sci. ed. ; N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. – St. Petersburg : VIR, 2023. – 28 p.

ISBN 978-5-907145-57-3

The developed technology is the result of scientific research conducted by the staff of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR) in the period from 2004 to 2021. Using the results of theoretical and applied research, methods have been developed for differentiating the source material on the basis of low content of water-soluble pentosans (arabinoxylans) in grain, and a strategy and technology have been formulated for breeding and seed production of low-pentosan rye of universal use in baking, mixed fodder and processing industries. The application of the technology makes it possible for the first time to develop rye cultivars with low content of water-soluble pentosans in grain at low financial costs. This is confirmed by six new population rye cultivars developed for various regions of Russia, which have no analogues in the world. They have been included in the State Register for Protected Breeding Achievements of the Russian Federation.

UDC 633.14:631.527:581.19

Часть I

ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКЦИИ НИЗКОПЕНТОЗАНОВОЙ ОЗИМОЙ РЖИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Введение

Рожь посевная *Secale cereale* L. – перекрестно опыляемая зерновая культура, представленная самонесовместимыми растениями озимого и ярового образа жизни, широко распространена в условиях умеренного климата Российской Федерации, Белоруссии, Восточной Европы, Китая и Ближнего Востока.

Классическая рожь относится к 14-хромосомному диплоидному виду. Параллельно существует искусственно полученная автотетраплоидная форма с удвоенным числом хромосом ($2n = 28$), которая наряду с диплоидной получила распространение в России и Белоруссии. Растения тетраплоидной и диплоидной ржи не скрещиваются или слабо (0,3–0,5%) скрещиваются между собой, в результате чего дают потомство с ограниченной плодовитостью.

По питательной ценности белок ржи превосходит пшеницу и ячмень за счет высокого содержания лизина и сбалансированности по другим незаменимым аминокислотам (Кобылянский, 1982).

Общее содержание антипитательных веществ в зерне ржи не выходит за пределы их количества в пшенице и других зерновых культурах. Из них только водорастворимые пентозаны (ВРП) создают проблему при прямом использовании зерна классической хлебопекарной ржи на кормовые цели, так как во ржи их в 3 раза больше, чем в пшенице.

Пятиуглеродные пентозаны не имеют ничего общего с некрахмальными полисахаридами зерна, несмотря на схожесть их химических формул, сладковатый вкус и способность растворяться в воде. Они не являются питательными веществами и источником энергии, не растворяются в алкоголе, не вступают в химические связи с питательными веществами. От полисахаридов отличаются способностью существовать в мономерно- и полимерно-молекулярной форме. Отличительной особенностью пентозанов являются их особые функции. Они предназначены быть строительным материалом при формировании анатомо-морфологической структуры растений и обеспечения их жизнеспособности.

Широко известны три формы пентозанов: рибоза – участвует в обменных процессах, при образовании ДНК и РНК, отвечающих за наследственность и изменчивость всего живого на земле; арабиноза и ксилоза (арабиноксиланы) – обеспечивают образование склеренхимных тканей растений (древесины) и проводящих тканей корней, стеблей и плодов. В частности, арабиноксиланы на 80% входят в состав гемицеллюлозы и совместно с лигнином, целлюлозой и минеральными веществами служат структурными компонентами клеточных стенок тканей растений и зерна (Кобылянский, Солодухина, 2013).

При употреблении животными зерна высокопентозановой ржи в желудке образуется липкая слизь, обволакивающая пищевой ком, что затрудняет доступ пищеварительных ферментов к питательным веществам зерна и ограничивает всасывание и усвоение продуктов пищеварения (Суган et al., 1995; Boros, 2007). Это связано с тем, что сельскохозяйственные животные не имеют ферментов для расщепления пентозанов. Кроме того, пентозаны не гидролизуются дрожжами. В комбикормовой промышленности России использование цельного зерна хлебопекарной ржи в рационах животных составляет всего 5–10% от валового сбора урожая (Озимая рожь, 2007).

Частичное решение этой проблемы в России достигнуто за счет использования различных технологий: механической и термической обработки зерна, введения в рационы животных ферментов, гидролизующих пентозаны, и др. Но все они приводят к удорожанию кормов и животноводческой продукции. Поэтому создание низкопентозановой ржи с высокопитательным зерном – очень перспективное направление в селекции новых кормовых сортов.

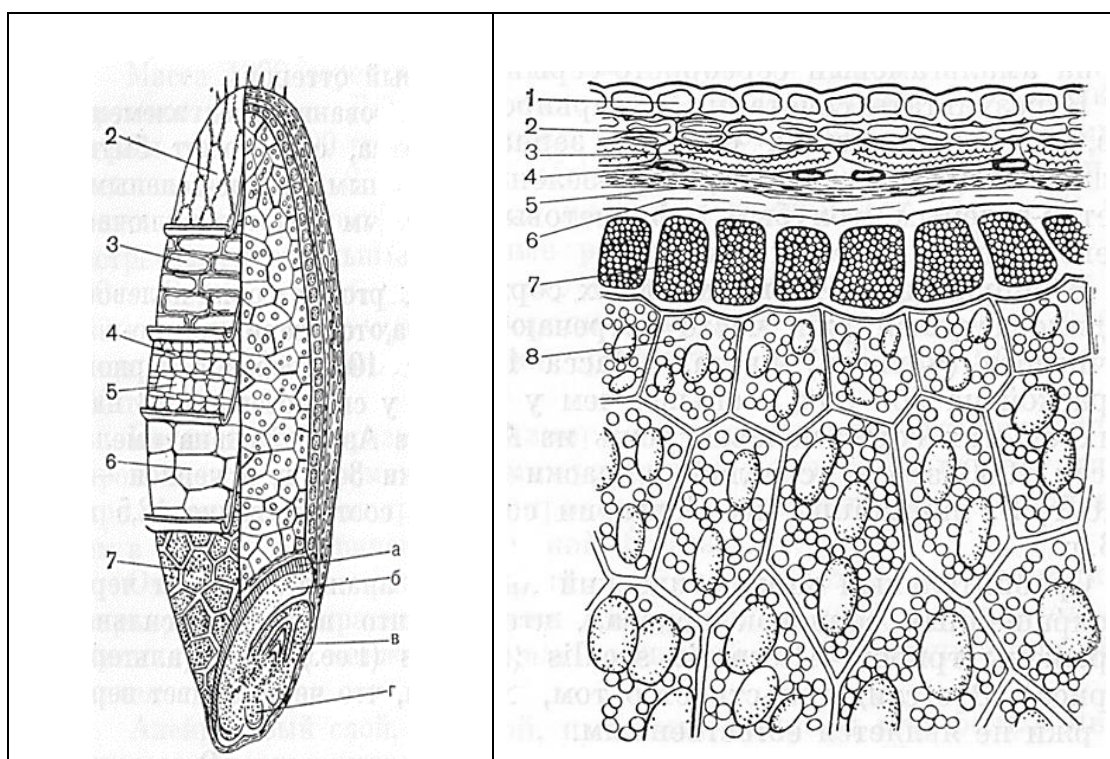
Первоначально для поиска исходного материала для селекции низкопентозановых сортов ржи зарубежными селекционерами был предложен метод, основанный на определении и использовании показателя вязкости водного раствора зерна (Boros et al., 2001). По этому показателю судили о степени содержания (ВРП) в зерне. Несмотря на то, что вязкость водного экстракта зерна коррелирует с содержанием ВРП (Гончаренко и др., 2007), применение показателей вязкости водного экстракта зерна в селекции не привело к созданию низкопентозановых сортов ни за рубежом, ни в России.

До недавнего времени для поиска исходного материала для селекции ржи с низким содержанием ВРП, представленных арабинозой и ксилозой, использовали методы биохимического анализа зерна. Следует отметить, что такие методы очень дорогостоящие и длительны по времени их проведения. Они не могут за короткий срок обеспечить анализ зерна сотен образцов, с которыми оперативно работает селекционер. Кроме того, они не пригодны для изучения небольшого количества зерен с нужным признаком, имеющих в исходной популяции ржи, так как нарушают целостность зерновок, то есть разрушают объект селекции. Исключение составляет лишь возможность использования биохимического анализа ржи на содержание ВРП в зерне при использовании клоновой селекции растений. В этом случае изолированная часть каждого клона рассматривается как чистый линейный материал, у которого все растения однородны по всем признакам и соответствуют анализируемой части клона. Иными словами, показатели семян одних растений каждого клона соответствуют показателям семян остальных растений клона этого генотипа, не подвергавшихся биохимическому анализу и, следовательно, сохранившихся для селекции.

Кроме того, биохимическая оценка зерна пригодна при селекции гибридной ржи, созданной на основе цитоплазматической мужской стерильности и предусматривающей использование однородного линейного материала.

Ограниченные возможности использования биохимических методов в селекции ржи на низкое содержание ВРП в зерне стимулировали необходимость поиска других возможностей. Ранними исследованиями установлено, что у зерновых культур пентозаны локализуются в основном в покровах зерновок (перикарпии), семенной кожуре (спермодерме) и алейроновом слое (Дименштейн и др., 1958). Схематично строение зерновки ржи представлено на рисунке 1.

Исследование анатомо-морфологической структуры зерновок ржи, значительно различающихся по показателю ВРП, подтвердило тесную связь между толщиной их оболочек и содержанием ВРП. Сильное (до 60%) уменьшение толщины оболочек с 102 до 60,5 мкм сопровождалось уменьшением содержания ВРП в зерне с 2,2 до 0,5–0,9%, и наоборот (Кобылянский и др., 2021).



- 1, 2, 3 – слои клеток перикарпия (локализация ВРП);
 4, 5, 6 – слои клеток семенной кожуры (локализация ВРП);
 7 – алейроновый слой (максимальная локализация ВРП);
 8 – эндосперм; а, б, в, г – зародыш зерновки

Рис. 1. Схема структуры зерновки ржи (по В. Д. Кобылянскому, 1982)

Выявленная связь низкого содержания ВРП с тонкопокровностью зерна легла в основу нашей разработки «экспресс-метода идентификации и отбора низкопентозановых зерен», не нарушающего целостности зерновки и отвечающего требованиям селекции.

Исходный материал для селекции

Исходный материал, используемый при создании нового сорта, должен быть пригоден для возделывания в конкретных почвенно-климатических условиях зоны. При этом растения популяции, предназначенные для селекции, должны иметь самые высокие показатели ценных признаков. Это касается агрономических, адаптивных, урожай образующих признаков и качества зерна.

В отличие от других хлебных злаков, все сорта культурной ржи и ее дикорастущих родичей характеризуются внутривнутрипопуляционным диморфизмом, проявляющимся в существовании двух фракций зерна, различающихся по толщине покровов. Каждый конкретный популяционный сорт имеет свое процентное соотношение толстопокровных и тонкопокровных зерен. Высокопластичные популяции ржи, в которых это соотношение незначительно меняется в зависимости от условий года, места и способа выращивания растений, представляют особую ценность для селекции низкопентозановой ржи. Зерно толстопокровной фракции имеет толстую, грубую, морщинистую, а тонкопокровной – гладкую полупрозрачную оболочку, которая почти в два раза тоньше, чем у первой фракции.

Обследование 502 образцов коллекции сортовой, сорно-полевой и дикорастущей (ломкой) ржи показало, что количество тонкопокровных (низкопентозановых) зерен, в зависимости от образца, варьирует от 12% до 70%. Районированные сорта могут иметь до 60% низкопентозановых зерен.

Тонкопокровность зерна формируется в связи с уменьшением толщины межклеточных перегородок, тканей оболочек и алейронового слоя, что приводит к образованию их прозрачности и иллюзорной ложной стекловидности. Такое зерно выглядит, как стекловидная пшеница.

Установлено, что «тонкие» покровы зерна, в отличие от «толстых», свободно пропускают свет. Используя этот факт, нами предложен метод визуального определения тонкопокровности зерна ржи.

Тонкопокровные (низкопентозановые) зерновки можно обнаружить при их просвечивании лучами белого цвета. На просвет они выглядят стекловидноподобными. Такие зерна можно отбирать с помощью обычных лабораторных калибровочных решет, разложив семена ржи в один слой над отверстиями решетки и подсветив обычной настольной лампой снизу. При рассмотрении сбоку тонкопокровные зерновки имеют более интенсивную (насыщенную) окраску и выглядят гладкими, светящимися изнутри, как бы «прозрачными»

В отличие от стекловидных зерен пшеницы, ложностекловидные зерна ржи имеют мучнистый эндосперм. Освещенные тонкопокровные зерна имитируют ложную стекловидность, а толстопокровные – ее отсутствие. При помощи пинцета легко извлечь эти зерна из общей массы и использовать для дальнейшей работы.

Фактически отбор зерна ржи на тонкопокровность сопряжен с отбором его на низкое содержание ВРП и соответствует цели создания низкопентозановых сортов. По результатам биохимического анализа установлено, что стекловидноподобные зерновки характеризуются низким (0,3–0,9%) содержанием ВРП. Иначе говоря, тонкопокровность и ложная стекловидность являются маркером низкого содержания ВРП в зерне. Низкое содержание ВРП в тонкопокровных зерновках обусловлено меньшим по объему местом их локализации – в оболочках, межклеточном пространстве и алейроновом слое.

Нами предложен оригинальный подход к созданию исходного материала, который был использован при разработке инновационной технологии селекции и создании первых низкопентозановых сортов ржи. Особенность и оригинальность технологии состоит в том, что для селекции используют не всю исходную популяцию сорта ржи, а только тонкопокровную ее фракцию, гарантирующую успех при создании сорта универсального использования в кормовой, хлебопекарной и перерабатывающей промышленности. Выявленный факт, что тонкопокровные семена являются носителями признака низкопентозановости, позволяет исключить из селекционного процесса затраты, необходимые для биохимической оценки низкопентозановости у селекционного материала.

В качестве исходного материала для создания низкопентозанового сорта следует брать лучшие или перспективные сорта местной селекции, адаптированные к почвенно-климатическим условиям выращивания растений. Большинство современных сортов мирового генофонда хлебопекарного использования содержат в своих популяциях около 5–30% генотипов с низким (0,5–0,9%) содержанием ВРП в зерне. Они, как и другие растения, обладают высокими урожай образующими признаками, характерными для исходного сорта, что не требует больших дополнительных затрат при селекции нового сорта.

Если есть возможность выбора, следует использовать сорта с максимальной частотой (не менее 50%) тонкопокровных зерен среди общей сортовой массы зерна.

Образцы с пониженным содержанием ВРП в зерне можно использовать лишь в качестве источников признака для селекции низкопентозановой ржи. Зерно такой ржи нельзя непосредственно использовать на корм животным. Кроме того, такие образцы не всегда технологичны, т. е. не обладают высокими показателями признаков современных сортов по урожайности, экологической пластичности и качеству зерна.

Наиболее эффективным исходным материалом, ускоряющим селекцию зернофуражной ржи, могут служить низкопентозановые сорта, уже созданные в России. Они прошли оценку в основных зонах выращивания ржи, испытаны в качестве сырья для кормопроизводства, хлебопечения и не уступают по урожайности и другим агрономическим признакам ранее районированным (хлебопекарным) сортам. Элитное зерно этих сортов можно

использовать в контролируемых скрещиваниях в качестве материнских или отцовских компонентов. Можно также применять их как исходный материал для отбора лучших генотипов, выявившихся при выращивании в зоне селекции.

Кроме того, для расширения генофонда для селекции ржи в ВИР созданы десятки доноров, сочетающих низкое содержание ВРП в зерне с высокими показателями важных агрономических и урожай образующих признаков растений (Кобылянский, Солодухина, 2015).

Исходя из рецессивного наследования низкого содержания ВРП в зерне и отсутствия влияния мужского гаметофита на экспрессию признака, гибридные тонкопоровые низкопентозановые зерна, отобранные из исходного сорта, могут иметь гомозиготное или гетерозиготное состояние аллелей генов, контролирующих признак низкого содержания ВРП. Вследствие чего нельзя предположить получение в результате нерасщепляющегося однородного потомства с тонкопоровыми семенами или расщепляющегося по признаку гетерогенного потомства.

Методы селекции

Метод накопительных внутрипопуляционных скрещиваний.

Однократный отбор низкопентозановых семян из исходной популяции, содержащей менее 50% тонкопоровых зерен, недостаточен для формирования нового популяционного сорта из-за малого количества в ней гомогенных нерасщепляющихся по признаку форм. Для увеличения их численности предложен метод накопительных внутрипопуляционных скрещиваний.

Метод предусматривает систематический отбор тонкопоровых зерен в каждом поколении гибридов, полученных от изолированно переопыленных растений, выращенных из тонкопоровых семян. Внутрипопуляционные скрещивания приводят к накоплению в своих потомствах числа зерен с признаком тонкопоровости. В каждом последующем поколении (G-генерации) повторяют отбор нужных форм растений и снова проводят внутрипопуляционное скрещивание, что способствуют увеличению доли гомогенных тонкопоровых и уменьшению доли гетерогенных потомств.

В потомствах G_4 – G_7 , в зависимости от первоначальной частоты нужных зерен и качества отбора, количество низкопентозановых зерновок достигает 40–50% (таблица). Это соответствует примерно наличию 20% растений и соответствующих им тонкопоровых зерен, гомогенных по признаку низкого содержания ВРП в зерне.

По эффективности метод накопительных внутрипопуляционных скрещиваний равен методу беккроссных скрещиваний, используемому для передачи признаков от одних генотипов другим. В потомстве, полученном в результате каждого внутрипопуляционного скрещивания, увеличивается число рецессивных аллелей, детерминирующих признак тонкопоровости.

Таблица. Метод накопительных внутрипопуляционных скрещиваний ржи

Год, поколение урожа (G _n)	Этапы отбора
1-й G ₀	Посев 200–300 шт. семян, отобранных из фракции тонкопокровных зерен у исходной популяции сорта. Получение гибридов G ₀ в условиях строгой изоляции, исключающей чужеопыление.
2-й G ₁	Посев тонкопокровных 200–300 шт. гибридных семян, отобранных из урожая поколения G ₀ от первого внутрипопуляционного скрещивания. Получение гибридов G ₁ в условиях строгой изоляции, исключающей чужеопыление.
3-й G ₂	Посев тонкопокровных 200–300 шт. гибридных семян, отобранных из урожая поколения G ₁ от второго внутрипопуляционного скрещивания. Получение гибридов G ₂ в условиях строгой изоляции, исключающей чужеопыление.
4-й G ₃	Посев тонкопокровных 200–300 шт. семян, отобранных из урожая поколения G ₂ от третьего внутрипопуляционного скрещивания. Получение гибридов G ₃ в условиях строгой изоляции, исключающей чужеопыление.
5-й G ₄	Посев тонкопокровных 200–300 шт. гибридных семян, отобранных из урожая поколения G ₃ от четвертого внутрипопуляционного скрещивания. Получение гибридов G ₄ в условиях строгой изоляции, исключающей чужеопыление.
6-й G ₅	Определение частоты (в %) тонкопокровных семян в урожае, полученном от последнего внутрипопуляционного скрещивания. Если их количество будет меньше 40–50%, то продолжить отбор и посев семян до достижения нужного уровня. Затем перейти к следующему этапу селекции – очистке потомства от расщепляющихся генотипов по признаку низкого содержания ВАК в зерне и увеличение доли гомогенных форм.

Схематично процесс накопления тонкопокровных зерен при внутривнутрипопуляционных скрещиваниях показан на рисунке 2.

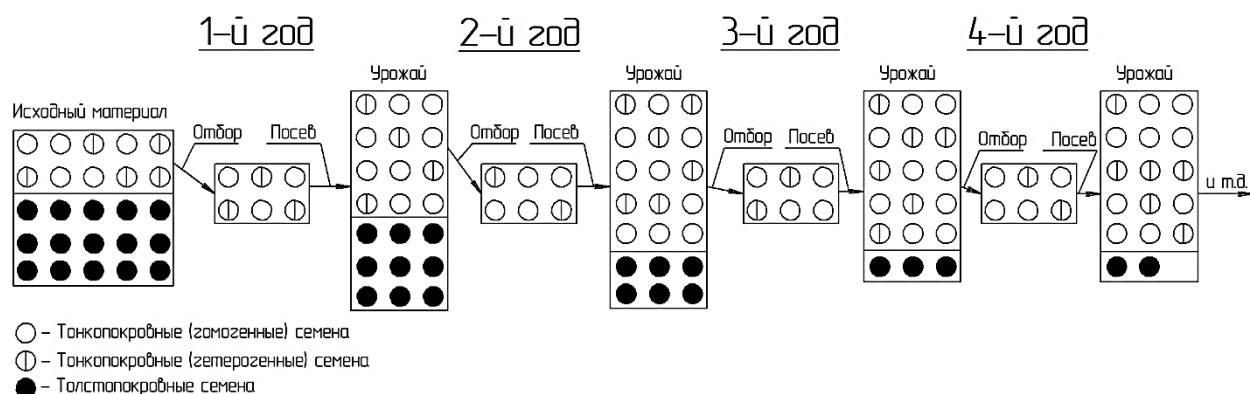


Рис. 2. Схема накопительных внутривнутрипопуляционных скрещиваний растений ржи для увеличения доли гомогенных тонкопокровных зерен в популяции сорта

Первоначально тонкопокровные зерна, отобранные из исходного образца ржи, неодинаковы по своей генетической структуре. В результате посева семян с тонкопокровной структурой получают две группы растений: одну – с тонкопокровным зерном, другую – с толстопокровным зерном. Это объясняется тем, что образцы ржи состоят из двух фракций зерна, различающихся по толщине оболочек. Растения обеих фракций произвольно переопыляются внутри популяции ржи. В результате чего растения с генетически тонкопокровным зерном от скрещивания с аналогичными растениями формируют тонкопокровное зерно. Другая часть растений с тонкопокровным зерном скрестилась с растениями, имеющими толстопокровное зерно, в результате чего образовалось тонкопокровное зерно, имеющее генетически гибридный зародыш. При посеве такого гибридного зерна вырастает высокопентозановая рожь, т. е. растения, выращенные из этого зерна, будут толстопокровными.

Исходя из описанной выше закономерности, следует, что начиная с первого года посева отобранными тонкопокровными семенами и в течение всех последующих «накопительных» посевов будет происходить расщепление полученного потомства на два класса растений, имеющих зерно, различающееся по толщине покровов.

Поскольку из общего урожая семян для посева следует отбирать только тонкопокровное зерно, то в каждом последующем потомстве (G) их число будет увеличиваться, в связи со систематическим удалением из урожая толстопокровных зерен.

В течение всего периода насыщающих скрещиваний растений из посева до цветения необходимо удалять растения, не отвечающие требованиям

селекции по другим признакам (низкой зимостойкости, высокой восприимчивости к болезням, колосовой выравненности сорта, низким числом цветков в колосе и др.).

После завершения внутрипопуляционных накопительных скрещиваний – при достижении числа тонкопокровных зерен 40–50% и более, отобранные по фенотипу тонкопокровные зерновки будут неодинаковы по своему генотипу, и проявят уже в первом поколении гомогенное нерасщепляющееся потомство с тонкопокровным стекловидноподобным зерном или гетерогенное потомство, расщепляющееся на растения с тонко- и толстопокровным зерном. При этом после завершающих внутрипопуляционных скрещиваний гомогенные потомства с тонкопокровными зерновками составят большинство. Эти формы являются тем материалом, который составит основу будущего сорта.

В этом случае селекционный материал подвергают отбору растений с гомогенными (нерасщепляющимися) тонкопокровными зернами в питомнике парного переопыления растений.

Метод попарного переопыления растений с индикаторными колосьями является одним из немногих способов отбора гомогенных растений по признаку тонкопокровности – низкого содержания ВРП в зерне, необходимых для создания сортовых популяций ржи. Селектируемые популяции, у которых после серии внутрипопуляционных накопительных скрещиваний количество тонкопокровных зерен достигло 40–50%, готовы для формирования гомогенных популяций.

Закладка посева «парных переопылений» должна проводиться только тонкопокровным зерном (1500 шт.) растений, выращенных из тонкопокровных семян в условиях полной изоляции, исключающей чужеопыление. Семена, предназначенные для посева, предварительно должны пройти тест-контроль на световом устройстве (приборе), подтверждающем их тонкопокровность. Для посева отбирать семена хорошо выполненные, без каких-либо изъянов и следов поражения патогенами. Посев опыта размещать в селекционном питомнике с целью создания пыльцевого режима для опыления контрольных колосьев, находящихся вне изоляторов каждой пары растений.

Посев проводить вручную. Для этого разложить семена в посевные бороздки на двухстрочных полосах, расположенных друг от друга на расстоянии 20 см. Расстояние между семенами в бороздке должно соответствовать тоже 20 см. При таком посеве будущие растения будут иметь площадь размещения 20×20 см. Вторую параллельную двухстрочную полосу посеять рядом на расстоянии 50–60 см. Пространство между двумя двухстрочными полосами будет служить дорожкой. Такая форма размещения посева удобна для проведения попарной изоляции растений, доступа к растениям и ухода за посевом (рис. 3).

Объем опыта и потребность семян для его закладки зависит от потребности получения числа гомогенных пар. Экспериментально установлено, что 50% частоты тонкопокровных зерен в популяции ржи дает выход тонкопокровных пар, при попарном переопылении растений, в пределах 10–13%. Для создания полноценной по генетической структуре, перекрестно опыляющейся, популяции ржи необходимо около 500 пар растений носителя признака низкого содержания ВРП в зерне.

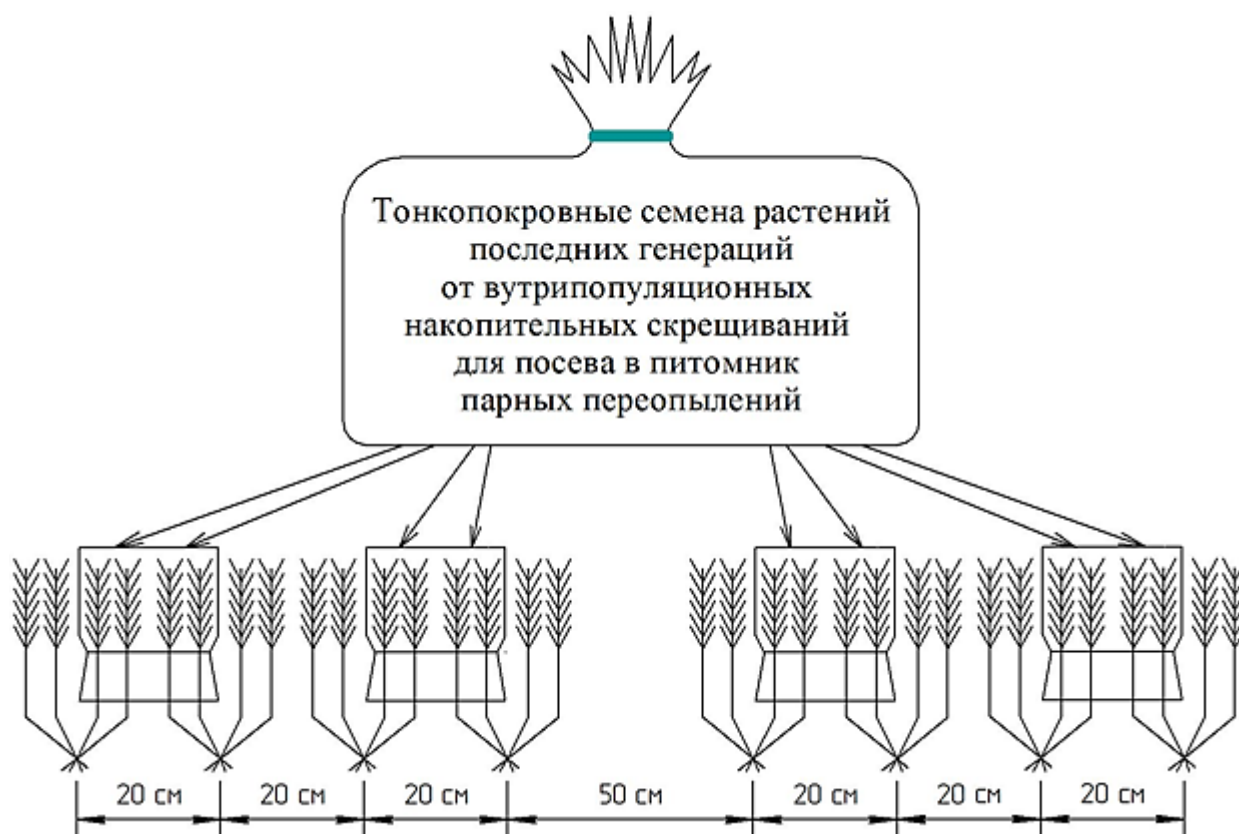


Рис. 3. Схема размещения растений в двухстрочном посеве для парной изоляции

Расчетное число семян для посева опыта по созданию одной популяции составит 1400–1500 зерен с учетом на недостаточную всхожесть, браковку нетипичных всходов, перезимовку, браковку нетипичных растений и прочих брак.

Попарную изоляцию растений проводят изоляторами, заранее изготовленными из прочной пергаментной бумаги. Рабочие размеры готового изолятора составляют 15 см в ширину и 40 см в длину (высоту). Заготовка листа для изолятора должна быть на 1 см больше по всему периметру, рассчитанная для загибов при склеивании заготовки. Клей для изоляторов – ПВА строительный (не канцелярский), он не размокает при влажной погоде. Склеивают изоляторы таким образом, чтобы края

бумаги склеивались внахлест. Верхний край изолятора сначала плотно склеивают внахлест, а затем загибают и еще раз склеивают во избежание образования щелей. Со стороны открытой части изолятор напоминает трубу, что удобно для надевания его на пучок колосьев. Перед изоляцией пар растений до цветения проводят негативный отбор (удаление) и выбраковку нежелательных форм.

Посевную площадь под посев рассматриваемого питомника рассчитывают в соответствии с количеством высеваемых семян и расстояния между ними в посеве. Длина полосы всех 4-х строчек займет 7 м, ширина – 120 см. С учетом центральной разделительной полосы между 2-строчными полосами и защитными метровыми дорожками по обе стороны от посева, а также метровых пропусков в начале и в конце посева, весь посев займет 9 м в длину и 3,7 м в ширину.

В период колошения перед цветением проводят подбор пар растений для взаимного переопыления. Для этого каждому растению первой строчки подбирают компонент поближе со второй строчки этой же полосы. Растения одной пары должны быть по возможности одинакового роста и синхронного колошения. От каждого растения пары отводят по два-три стебля со стороны каждого партнера для изоляции. Отобранные стебли с колосьями обматывают достаточно туго шпагатом и связывают в один пучок ниже второго сверху листа, чтобы стебли не двигались по отношению друг другу. Шпагат должен быть пеньковым или льняным, мягким и гладким, чтобы излишне не травмировать растения. Один изолятор надевают на одну пару растений (4–6 колосьев) после выхода колосьев из влагалища флагового листа. Кроме того, от каждого растения по 2 контрольных (индикаторных) колоса оставляют вне изолятора. На поверхности изолятора мягким карандашом жирно пишут порядковые номера растений каждой пары: 1 × 2; 3 × 4; 5 × 6 ... и т. д. Надетый изолятор на расстоянии 5 см от нижнего края обжимают вокруг подколосовых междоузлий, туго обматывают и связывают мягким тонким шпагатом. Если закреплению изолятора мешает флаговый лист, в связи с коротким подколосовым междоузлием, его можно удалить и этим улучшить возможность закрепления изолятора. Оставшиеся после изоляции свободные стебли каждого растения оставляют для свободного опыления и созревания. В период налива зерна свободные стебли каждого растения пары также связывают в пучок шпагатом с пергаментной этикеткой.

Стебли созревших контрольных колосьев каждого растения пары номеруют в соответствии с номерами, которые написаны на изоляторах: 1 и 2; 3 и 4; 5 и 6 и т. д. После уборки и обмолота контрольных колосьев каждого растения пары их оценивают по признаку тонкопокровности на световом устройстве. По результатам оценки зерна индикаторных колосьев отбирают пары, у которых оба компонента (растения) скрещивания имеют тонкопокровные зерна.

Семена каждой отобранной пары с тонкопокровным зерном высевают на отдельной делянке изолированного участка и оценивают до цветения по агрономическим признакам. Пары, не отвечающие требованиям селекции, удаляют и выносят с территории изолированного участка. Созревшее зерно оставшихся пар объединяют в общую популяцию и высевают на изолированном участке в качестве популяции предсорта низкопентозановой ржи.

В период первого года размножения до цветения удаляют нежелательные растения. Впоследствии «новую» популяцию предсорта изучают по всем признакам, предусмотренным требованиями Госкомиссии РФ.

Часть II

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА НИЗКОПЕНТОЗАНОВОЙ ОЗИМОЙ РЖИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Введение

Начиная с 2015 г. Государственная комиссия РФ по сортоиспытанию районирует и заносит в Государственный реестр на допуск к выращиванию первые сорта универсальной ржи, характеризующиеся низким (0,5–0,9%), как у пшеницы, содержанием ВРП (арабиноксиланов) в зерне. Такое зерно теряет свои антипитательные свойства, присущие сортам традиционной хлебопекарной ржи. Это свойство открывает возможность использования зерна новых сортов в рационах кормов для животных в чистом виде и в виде смесей с другими злакам без дорогих ферментативных добавок. Корма рационов при введении низкопентозанового зерна в количестве 50% от общей массы более охотно поедаются всеми видами сельскохозяйственных животных, легко перевариваются и усваиваются.

Экспериментально доказано, что в результате двухмесячного кормления поросят в ООО «Озерский свинокомплекс» (Тульская область) «опытным» рационом, в котором зерновые культуры из «стандартного» рациона на 50% заменили зерном низкопентозановой ржи и исключили дорогостоящие пищевые добавки (сухое молоко и премикс), получили увеличение прироста животных на 44,5% по сравнению с использованием «стандартного» рациона. При кормлении поросят рационом с добавлением ржи снизилась конверсия корма, т. е. для получения прироста каждого килограмма живого веса животных затратили кормов на 41,7% меньше (Кобылянский и др., 2017).

В Северо-Кавказском зональном научно-исследовательском ветеринарном институте проведены исследования, показывающие, что при кормлении поросят в течение месяца монодертью из зерна низкопентозановой ржи прирост живой массы на 1 голову был на 16% больше, чем при кормлении дертью ячменно-пшеничной.

Зерно низкопентозановой ржи пригодно для производства не только концентрированных кормов, но и для получения хлеба, крупы и спирта. Растения сортов низкопентозановой ржи по структуре и качеству своего зерна отличаются от растений традиционной хлебопекарной ржи. Это обстоятельство не позволяет использовать традиционные технологии при семеноводстве сортов новой ржи.

Для получения элитных семян новых сортов необходима соответствующая технология, позволяющая сохранить высокое качество зерна, основанное на признаке низкого содержания ВРП.

Низкое содержание ВРП в зерне контролируется рецессивными аллелями большого числа генов, аддитивно комплементарного действия, которые

находятся во всех хромосомах ржи. В год переопыления низкопентозановых растений с высокопентозановой рожью образуются зерновки, у которых эндосперм остается низкопентозановым. Это позволяет использовать гибридное переопыленное зерно только на кормовые цели, но оно абсолютно непригодно для семеноводства. При посеве из гибридного зерна в F_1 вырастает высокопентозановая рожь, непригодная для использования в кормопроизводстве. В F_2 и последующих поколениях гибридное потомство расщепится по признаку содержания ВРП. Вернуть селективируемый признак можно будет только через 5–8 лет, создавая новый сорт селекционным путем.

Одной из основных задач семеноводческой работы с низкопентозановой рожью – не допускать генетического и механического засорения растений семеноводческих посевов и их семян. Размещать посевы в местах не ближе 3 км от посевов другой ржи, чтобы не допускать чужеопыления растений. Использовать предварительно очищенную посевную и уборочную технику, сортировочные и очистительные машины, приборы и тару от зерна чужеродной ржи и других культур. Транспортировать, сушить и складировать отдельно от зерна растений других сортов и видов. Засоренные семена хранить отдельно и не использовать для семеноводства.

Основная цель семеноводства универсальной низкопентозановой ржи состоит в необходимости сохранить на высоком уровне не только урожайность сорта, но и все его положительные признаки и свойства, а также не исключать возможность их улучшения. Главным признаком для универсальной ржи является низкое содержание ВРП в зерне, которое следует сочетать с высокой продуктивностью и устойчивостью к биотическим и абиотическим факторам.

Методы и технология семеноводства озимой универсальной ржи разработаны с учетом самонесовместимости и перекрестного опыления ее растений, а также рецессивностью признака, контролирующего низкое содержание водорастворимых пентозанов в зерне и морфологических особенностей низкопентозанового зерна. Первичное семеноводство необходимо вести не на основе индивидуального отбора элитных растений, как принято для классической ржи, а на основе отбора элитных пар, взаимно переопыленных растений с использованием индикаторных колосьев. Оба растения каждой изолированной пары должны характеризоваться низким содержанием ВРП в зерне. Это позволит отобрать «чистые» потомства, не расщепляющиеся по признаку низкого содержания ВРП в зерне, характерного для универсальной ржи.

Закладка питомника «парных переопылений» в семеноводстве низкопентозановой ржи

Первый год

Отбор элитных колосьев, подготовка семян к посеву, посев.

В посеве элиты или суперэлиты в фазу восковой спелости отбирают 500 лучших колосьев с лучших растений, характерных для сорта по высоте, форме и максимальной продуктивности колоса – числу колосков и зерен в колосе (80–100 шт.). Колосья подсушивают и обмолачивают отдельно. Зерно от каждого колоса помещают в чашки Петри или розетки, небольшие контейнеры и т. п., которые раскладывают на столе рядами по 50–100 штук для удобства визуальной оценки зерна. Оценку зерна проводят по показателям продуктивности, крупности, форме, выполненности, пораженности болезнями и вредителями. Зерно, не отвечающее требованиям отбора, выбраковывают (рис. 4).

Лучшие семена каждого колоса просвечивают на приборе (диафаноскопе или специальном устройстве) для определения их «стекловидности». Для посева оставляют только тонкопокровные стекловидноподобные зерна. Питомник парных переопылений высевают двухрядным ленточным способом с размещением растений 20 × 20 × 50–60 см (20 см между растениями в рядке, 20 см между рядками, 50–60 см дорожка между двухрядными лентами). В связи с возможной пониженной всхожестью семян, а также возможной гибелью растений до «ухода в зиму», при перезимовке и последующей браковке, объем посева следует увеличить на 30–50%. Следовательно, для получения 500 пар растений потребуется, не менее 1500 зерен.

Второй год

Формирование, уборка, обмолот пар растений и идентификация их зерна по признаку низкого содержания ВРП.

Весной в начале отрастания ржи в питомнике парных переопылений, проводят браковку слабораскустившихся и сильно пораженных снежной плесенью растений. До цветения удаляют с поля нетипичные (высокорослые), непродуктивные и сильно пораженные болезнями растения. Подготавливают заранее пергаментные изоляторы размером 15 см в ширину, 40 см в длину, в количестве, необходимом для всего объема закладки предполагаемых пар (смотри метод попарного переопыления растений с индикаторными колосьями).

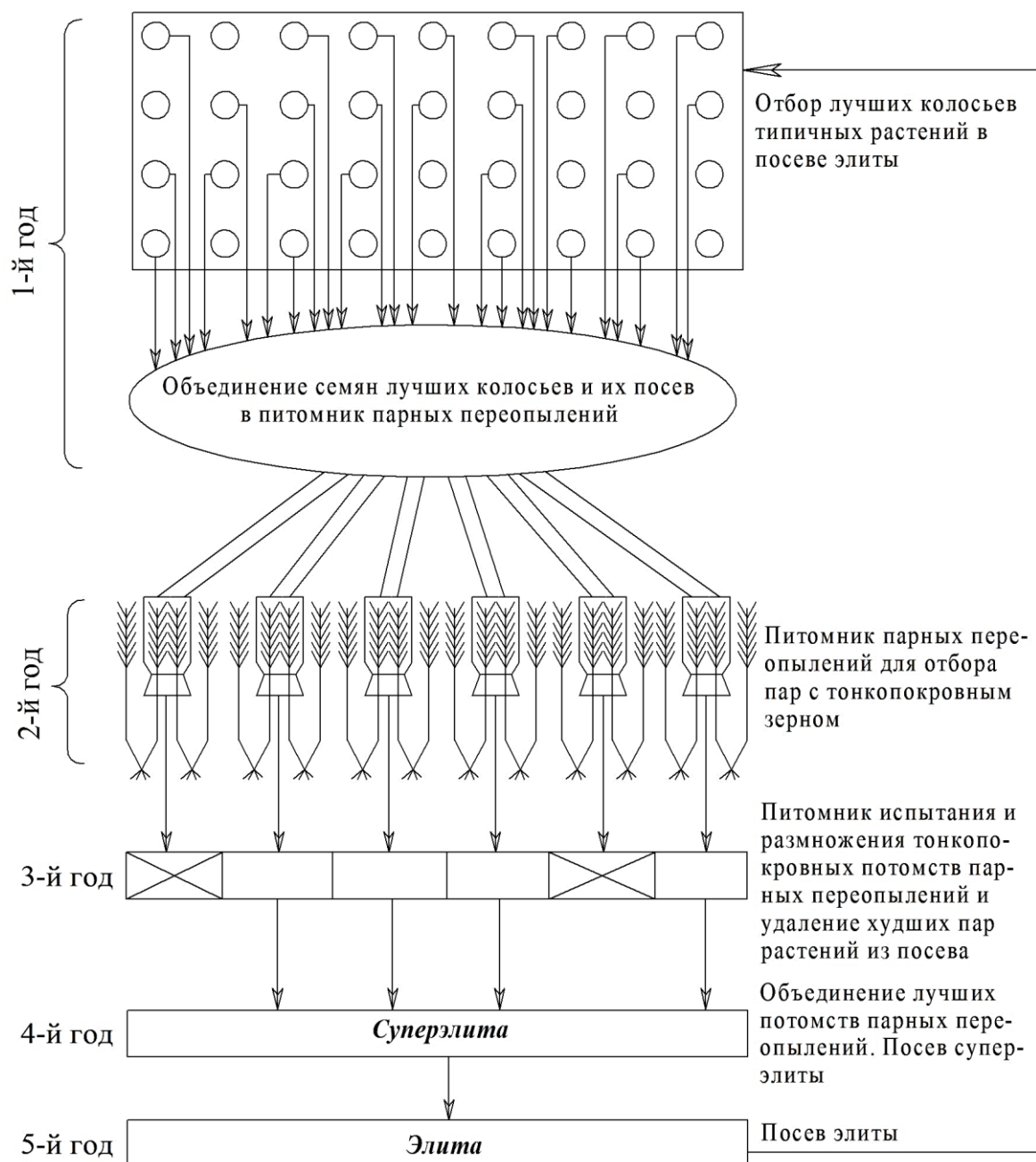


Рис. 4. Схема первичного семеноводства низкопентозановой универсальной ржи с использованием метода парных переопылений

После колошения (полного выхода колосьев) проводят обследование ленточного посева и намечают растения для создания пар. Колосья растений одной пары должны располагаться близко друг к другу и быть на одном или близком уровне по высоте. На два растения надевают один общий изолятор для взаимного переопыления, при этом от каждого растения будущей пары под изолятор помещают по 2–4 колоса, предварительно удалив флаг-лист, и по два контрольных колоса от каждого растения оставляют за пределами изолятора для свободного переопыления. На уровне второго узла сверху или выше изолятор необходимо обжать и туго обмотать, не передавливая

стебли, завязать на бантик тонким пеньковым гладким шпагатом. Подгоны удалить (обрезать у корня).

Через 2-3 дня осмотреть посевы, перевязать или поправить изоляторы. Если изолятор слетел до цветения растений, его можно заменить новым. Если колосья из-под слетевшего изолятора уже зацвели, то эта пара растений выбраковывается и удаляется из посева. В случае повреждения изолятора или его утери в период начала налива зерна, пары не выбраковываются.

Перед уборкой все сохранившиеся пары пронумеровать порядковыми номерами, которые записать в верхних углах изоляторов. Надписи делать простым карандашом или несмываемым фломастером. Стебли свободно опыленных контрольных (индикаторных) колосьев каждого растения пары аккуратно связать вместе пергаментной этикеткой с номером, аналогичным номеру соответствующей пары.

К уборке растений можно приступать в начале восковой спелости зерна. Убирают растения серпом, обрезая их у корня. Сначала лучше срезать стебли со свободно переопыленными колосьями каждой пары с этикеткой номера, соответствующего номеру пары, а после уборки всех контрольных колосьев убирают пары растений, не снимая при этом изоляторов, позволяющих исключить потери урожая зерна.

После уборки пучки контрольных, свободно переопыленных колосьев растений каждой пары подсушивают, молотят, а их семена оценивают на тонкопоровность, определяемую через стекловидноподобность, при помощи лабораторного цилиндрического диафаноскопа ЛФС-1, используемого для определения настоящей стекловидности зерна пшениц. Если свободно опыленные колосья обоих растений пары имеют тонкопоровные, как бы «светящиеся» зерна, то в изоляторе находятся тоже оба растения с тонкопоровным (низкопентозановым) зерном. Это значит, что пара пригодна для посева.

Если свободно опыленные колосья одного растения пары имеют тонкопоровное зерно, а второго – толстопоровное (не светящееся), то эта пара выбраковывается.

После обмолота зерно отобранных пар, оценивают по количеству, выполненности, пораженности патогенами и устойчивости к прорастанию на корню. Пары с дефектным зерном выбраковывают.

Для посева в основной питомник испытания потомств элитных пар растений первого года используют потомства пар, завязавших не менее 120 семян и отвечающих всем требованиям сорта низкопентозановой ржи, которые высевают отдельно на изолированном участке.

Закладка основного питомника испытания потомств элитных пар растений.

Лучшие потомства парных переопылений сеют в количестве 120 семян на 1 м². Остатки семян каждой пары оставляют в резерве. Посев проводят вручную (в раскладку) на полосе шириной 1 м с размещением поперек полосы 5-6-и рядковых делянок. Расстояние между делянками – 45 см, между

рядками в делянке – 15 см, между семенами в рядке – 5 см. Число семян в рядке – 20. Расстояние между полосами (дорожки) – 60 см.

Перед каждой делянкой ставят полевую этикетку с номером. Аналогичный номер ставят на пакетах резервных семян. Через каждые 20 номеров посева размещают стандарт, посеянный семенами суперэлиты или элиты этого (своего) сорта.

Зерно пар низкопентозановых растений, завязавших малое количество семян, высевают в отдельном блоке основного питомника в делянках по 1–5 рядков в зависимости от наличия семян и проводят процедуры, аналогичные процедурам в основном питомнике. Удаляют делянки с растениями, не отвечающими требованиям семеноводства, и оставляют делянки с хорошими показателями всех признаков урожайности и хозяйственно ценных признаков. Сравнивают урожай среднего рядка каждой делянки с урожаем среднего рядка по блоку. Урожай лучших потомств пар растений по блоку объединяют с урожаем основного питомника.

Третий год

Формирование питомника суперэлиты.

После перезимовки и весеннего отрастания растений в питомнике испытания потомств элитных пар растений проводят их оценку по фенологическим, морфологическим и биологическим признакам. Удаляют (вырубают тяпками) изреженные и плохо перезимовавшие делянки. В период до цветения удаляют (выкашивают) делянки с высокими и расщепляющимися по высоте растениями, а также с чрезмерно растянутым периодом колошения, с непродуктивными колосьями, сильно пораженными болезнями.

Уборку проводят вручную серпом в конце восковой или начале полной спелости растений. Снопки обмолачивают, зерно сушат и взвешивают. Сухие семена оценивают по урожаю, устойчивости к прорастанию на корню, выполненности, крупности, пораженности болезнями и вредителями. Урожай с каждой делянки сравнивают со средним урожаем ближайшего стандарта. Худшие по всем этим показателям потомства удаляют. Лучшие потомства и потомства из их резерва объединяют для следующего посева – питомника суперэлиты.

Закладка питомника суперэлиты. Семена лучших потомств парных переопылений, объединенных в одну популяцию, делят на две части: 30% – в страховой фонд и 70% – для посева. Посев проводят широкорядным ленточным способом для ускоренного размножения семян и возможности сортовой прополки.

Четвертый год

Формирование питомника элиты.

После перезимовки питомника суперэлиты из посева в течение всего вегетационного периода удаляют худшие растения. Уборку, сушку,

сортировку и затаривание семян следует проводить при строгом соблюдении правил, исключающих механическое их засорение.

Закладка питомника элиты.

Из урожая суперэлиты оставляют страховой фонд 20–30%, а 70–80% семян высевают сплошным разреженным способом, не превышая норму высева 2,5 млн всхожих зерен на 1 га. Это позволит избежать полегания растений при неблагоприятных погодных условиях и сформировать полноценное качество элитных семян.

Пятый год

В посеве элиты в период достижения полной спелости зерна проводят массовый отбор лучших типичных колосьев сорта с хорошо налитым зерном для закладки нового питомника «парных переопылений» в системе первичного семеноводства низкопентозановой ржи универсального использования.

Это связано с тем, что цикл элитного семеноводства необходимо повторять (закладывать) не реже, чем через каждые 2–3 года в связи с возможностью генетического или механического засорения сорта, ухудшения качества зерна и снижения всхожести резервных семян ржи.

Возможно одновременное применение метода генетического резерва и метода парных скрещиваний с использованием индикаторных колосьев (Тимина и др., 2020). Фонд генетического резерва семян формируют из посева питомника размножения нового сорта при передаче его в Госкомиссию по сортоиспытанию. Часть семян оставляют в резерве, а часть сеют. В случае если сорт признают перспективным по результатам изучения в Госсортоиспытании, к моменту его включения в Госреестр РФ может быть повторно получена суперэлита, что укорит процесс семеноводства сорта. Вторую часть резерва можно использовать для получения генетического резерва семян методом парных скрещиваний с использованием индикаторных колосьев.

Семена элиты используют для получения товарных семян универсальной ржи. Товарные семена, полученные после первого и второго поколения элиты, используют для посева производственных площадей для получения товарного зерна производственного назначения. Товарное зерно универсальной ржи наряду с другими зерновыми культурами можно непосредственно использовать для кормления животных или в качестве сырья для комбикормовой, хлебопекарной, крупяной и перерабатывающей промышленности.

Количество тонкопокровных зерен в зерновой массе низкопентозанового сорта должно составлять не менее 80–90%. Такое их количество надежно обеспечивает кормовые свойства сорта ржи.

В некоторых случаях увеличение урожая зерна до 12% можно достигнуть уже при однократном отборе лучших генотипов. Для этого необходимо подготовить материал для небольшого (0,5–1,0 га) разреженного широкорядного отдельного посева или размещенного на краю основного поля. Это достигается путем уменьшения в 2–3 раза нормы высева семян

и уменьшения на половину числа рядков. Все это позволит ходить между рядками растений при отборе лучших растений и колосьев.

До цветения с участка необходимо удалить выщепляющиеся высокостебельные растения (вырвать с корнем, сломать стебель посередине и положить под ноги между рядками).

В период восковой спелости растений, когда зерно в колосьях достигает своего размера и формы, начинают отбор лучших колосьев. В общей сложности необходимо отобрать 2000 колосьев. Следует отбирать более урожайные экземпляры, имеющие озерненность (95–100%). В колосе должно быть около 40–50 колосков (члеников колосового стержня) с двумя озерненными цветками. Глазомерно отбирают колосья не по их длине, а по числу зерен. Колос должен быть средней плотности, а зерно хорошо налито. Зерна не должны быть плотно закрыты цветковыми чешуйками (это признак щуплости).

Технология отбора. Перед отбором приготовить 100 отрезков тонкого шпагата длиной 30 см, необходимых для связывания пучков колосьев. Отбор проводить последовательно, начиная с края поля, проходя между рядами растений. Слева и справа на расстоянии вытянутой руки глазомерно оценивают растения и колосья по урожай образующим признакам.

Отобранные хорошие колосья вместе с верхним междоузлем связывают в пучки по 20 штук. После отбора все пучки колосьев высушивают до полной спелости зерна. Затем каждый колос обмолачивают отдельно, а его зерно помещают в отдельную емкость (чашку Петри или маленький контейнер и т. п.) и располагают рядами (по 10 шт.) для удобства их визуальной оценки.

Отбирают чашки Петри с хорошо выполненными семенами, не пораженными болезнями и вредителями, с высокими показателями урожай образующих признаков. Для выявления колосьев, содержащих тонкопокровное низкопентозановое зерно, семена дополнительно просматривают на просвет. Оставляют колосья, со стекловидноподобным тонкопокровным зерном, с высокими показателями урожай образующих признаков. Семена отбракованных колосьев удаляют. Лучшие семена лучших колосьев ссыпают вместе и используют для изолированного размножения, в качестве улучшенной популяции размножаемого сорта низкопентозановой ржи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием предложенных малозатратных технологий совместно с селекционными учреждениями созданы и внесены в Государственный реестр охраняемых селекционных достижений РФ первые популяционные сорта озимой ржи универсального использования, характеризующиеся низким содержанием ВРП в зерне, с высокими агрономическими признаками, не уступающие сортам традиционной ржи по хлебопекарным качествам зерна. К ним относятся 'Подарок', 'Вавиловская', 'Берегиня', 'Янтарная', 'Красноярская универсальная' и 'Новая Эра'.

Низкопентозановые сорта ржи пригодны для комбикормовой, хлебопекарной и перерабатывающей промышленности.

Затраты при использовании зерна универсальных сортов на кормовые цели значительно ниже, чем применение традиционной (хлебопекарной) ржи в рационах животных. Низкопентозановая рожь становится экономически выгодной и конкурентоспособной культурой.

Развитие стратегического направления селекции по созданию зернофуражной ржи открывает возможность решения проблемы дефицита концентрированных кормов для животноводства в системе АПК РФ, позволяет избежать импорта концентрированных кормов и снизить затраты на получение продукции животноводства.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0481-2022-0001 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаренко А. А., Тимошенко А. С., Беркутова Н. С. Вязкость водного экстракта зерна озимой ржи как универсальный признак при селекции на целевое использование // Сельскохозяйственная биология. 2007. Т. 42, № 3. С. 44–49. EDN IAEQGP.
2. Дименштейн Ф. И., Ермаков А. И., Княгиничев М. И., Гончаренко Ф. И. Биохимия ржи // Биохимия культурных растений. 2-е изд., перераб. и доп. Москва ; Ленинград, 1958. Т. 1. С. 165–233.
3. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Использование доноров ценных признаков растений в селекции новых сортов озимой ржи // Достижение науки и техники АПК. 2015. Т. 29, № 7. С. 7–12. EDN UCPKFH.
4. Кобылянский В. Д. Рожь. Генетические основы селекции. Москва : Колос, 1982. 271 с. EDN CSCDFL.
5. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Теоретические основы селекции зернофуражной ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов // Сельскохозяйственная биология. 2013. Т. 48, № 2. С. 31–39. EDN PZAXLZ.
6. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В., Лунегова И. В., Новикова С. П., Хлопук М. С., Макаров В. И. Создание низкопентозановой ржи и возможности ее использования на корм животным // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178, № 1. С. 31–40. DOI: 10.30901/2227-8834-2017-1-31-40. EDN ZFIZHJ.
7. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В., Никонорова И. М. Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 2. С. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130. EDN HDGENU.
8. Озимая рожь. Возделывание, использование на пищевые, кормовые и технические цели. Проблемы и решения / [изд. подготовили: В. А. Сысуев и др.]. Москва: Росинформагротех, 2007. 170 с.
9. Тимина М. А., Кобылянский В. Д., Бутковская Л. К. Особенности первичного семеноводства озимой ржи // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5 (158). С. 48–53. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-5-48-53. EDN YRYFGH.
10. Boros D. Quality aspects of rye for feed purposes // Proceedings of International Symposium on Rye Breeding & Genetics, 28–30 June, 2006. Germany, 2007. Vol. 71: Vortr Pflanzenzüchtg. P. 80–85.
11. Boros D., Lukaszewski A., Anio A. Location of genes controlling of dietary fibre and arabinoxilans in rye // Proceedings of the EUCARPIA Rye Meeting, Radzików, Poland, 4–7 July 2001. Radzicow, Poland, 2001. P. 78.
12. Cyran M., Rakowska M., Wasilewko J., Buraczewska L. Degradation of dietary fiber polysaccharides of rye in the intestinal tract of growing pigs used as a model animal for studying digestion in humans // Journal of Animal and Feed Sciences. 1995. Vol. 4, No 3. P. 217–227. DOI: 10.22358/jafs/69795/1995

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Часть I. ТЕХНОЛОГИЯ СЕЛЕКЦИИ НИЗКОПЕНТОЗАНОВОЙ ОЗИМОЙ РЖИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	5
Введение	5
Исходный материал для селекции	8
Методы селекции	10
 Часть II. ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА НИЗКОПЕНТОЗАНОВОЙ ОЗИМОЙ РЖИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	17
Введение	17
Закладка питомника «парных переопылений» в семеноводстве низкопентозановой ржи	19
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	26