

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЕЛЕКЦИИ ЗЕРНОФУРАЖНОЙ РЖИ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПЕНТОЗАНОВ

В.Д. КОБЫЛЯНСКИЙ, О.В. СОЛОДУХИНА

С целью создания озимой ржи с малым содержанием водорастворимых арабиноксиланов (ВАК) в зерне был осуществлен поиск исходного материала для селекции среди 400 образцов коллекции Всероссийского НИИ растениеводства (ВИР). Как оказалось, выявленная изменчивость по содержанию ВАК недостаточна для селекции малопентозановой ржи. Однако в популяциях ржи имеются единичные малопентозановые (0,5-1,0 %) биотипы, для идентификации которых предложен метод клоновых половинок. В F<sub>1</sub> все гибриды проявили четкое доминирование или сверхдоминирование по высокому содержанию ВАК и рецессивный характер наследования — по низкому. Реципрокные скрещивания контрастных по этому признаку форм показали отсутствие влияния отцовских компонентов на содержание ВАК в гибридном зерне F<sub>1</sub> материнских растений. Влияние отцовского компонента проявится в потомстве гибридных растений, выращенных из этих семян. На основе данных анатомо-морфологического изучения зерновки ржи с малым содержанием ВАК сформулирована стратегия селекции малопентозановой ржи (уменьшение доли оболочек на фоне улучшения химического состава эндосперма). С использованием этой стратегии получены селекционные материалы и созданы 7 популяций (предсортов) зернофуражной озимой ржи с низким содержанием ВАК в зерне.

**Ключевые слова:** рожь, стратегия селекции, наследование, доноры, предсорта, водорастворимые пентозаны (арабиноксиланы).

**Keywords:** rye, breeding strategy, inheritance, donors, prevarieties, water soluble pentosans (arabinixylans).

Современное производство концентрированных кормов для сельскохозяйственных животных осуществляется при использовании основных зерновых культур: пшеницы, тритикале, ячменя, кукурузы. Проблема использования зерна ржи в кормопроизводстве всегда привлекала внимание производителей. Частичное решение этой проблемы в России достигнуто за счет различных способов обработки зерна или применения ферментных добавок к рационам. Однако все это недостаточно эффективно и приводит к удорожанию кормов, а следовательно, к увеличению стоимости продукции животноводства. На практике в комбикормовой промышленности России использование зерна ржи без добавок не превышает 5 % валового сбора урожая (1).

Рожь по питательной ценности белка превосходит другие зерновые культуры (за исключением овса). Белок ржи на 83 % соответствует молочному казеину, тогда как у пшеницы — лишь на 41 %. Белок ржи содержит 3-4 % лизина и более благоприятно сбалансирован по другим незаменимым аминокислотам (2).

В научной литературе часто ссылаются на устаревшие сведения о наиболее опасных антипитательных веществах, обнаруженных в зерне ржи. К ним, кроме пентозанов, относят пектин, β-глюканы, фитиновую кислоту, 5-алкилрезорцины, ингибиторы трипсина и крахмал. Сведений о вредности этих соединений очень мало или вовсе нет, нередко «антипитательные» вещества не наносят приписываемого им вреда.

Так, упоминается, что пектины и крахмал способны образовывать в пищеварительном тракте высоковязкие растворы, мешающие пищеварению (1). Это возможно только при температуре в пищеварительном тракте 60-70 °С и выше. В противном случае пектин и крахмал гидролизуются в желудке. Антипитательность β-глюканов ограничивается тем, что они тормозят накопление жира при откорме животных, но при этом снижают ко-

личество вредного холестерина в крови. Антипитательные свойства фитиновой кислоты ржи и других зерновых культур проявляются в результате образования плохо растворимых солей при ее соединении с кальцием, железом, магнием и цинком. Фитиновая кислота и ее соли находятся только в клетках алейронового слоя. Они гидролизуются до безопасных соединений собственным ферментом фитазой, образующимся в эндосперме. Фитаза у ржи более активна, чем у других зерновых культур, что обеспечивает более интенсивное образование фосфатов, необходимых для обмена веществ прорастающего зародыша (3). 5-Алкилрезорцины (находятся только в оболочке зерновки) ошибочно отнесены к антипитательным веществам зерновых культур. Экспериментально доказано, что их содержание в зерне не отражается на скорости поедания пищи и приросте массы у животных (4). В отношении ингибиторов трипсина и химотрипсина зерна ржи и других злаковых культур доказано отсутствие антипитательного действия. Их содержание в зерне незначительно и не превышает 0,83 г/кг продукта. У зернобобовых (фасоль, горох, нут и кормовые бобы) количество ингибиторов трипсина соответствует 3,1-4,1 г/кг продукта, что ниже санитарной нормы. Их содержание в сое в 30 раз больше, чем у зерновых культур, что и создает проблему для пищеварения животных (5).

Общее содержание антипитательных веществ в зерне ржи не выходит за пределы их количества у пшеницы. Из перечисленных веществ только пентозаны создают проблему при использовании зерна классической ржи на кормовые цели.

Главным препятствием для употребления зерна современных сортов ржи на корм животным, особенно с однокамерным желудком (свиньи, птицы), служат некрахмальные пятиуглеродные сахара (пентозаны) — водорастворимые арабиноза и ксилоза (ВАК). Их количество у ржи в 3 раза больше, чем у пшеницы. У растений широко известны три формы пятиуглеродных сахаров-пентозанов: рибоза, участвующая в обмене веществ и образовании ДНК и РНК (ее остаток в сухом зерне не влияет на его качество), а также арабиноза и ксилоза (арабиноксиланы), которые входят в состав гемицеллюлозы и наряду с другими моносахарами, целлюлозой, лигнином и минеральными веществами служат структурными компонентами клеточных стенок (6).

Водорастворимые арабиноксиланы в полимерном состоянии характеризуются высокой гидрофильностью и способны поглощать воду в количестве, которое в 8-10 раз больше их массы, в результате чего образуются вязкие гели (слизи), затрудняющие доступ пищеварительных ферментов к белкам и жирам зерна. Кроме того, ВАК, покрывая слизью стенки кишечника, ограничивают всасывание и усвоение продуктов пищеварения (7, 8).

В отношении возможности селекции зернофуражной ржи с низким содержанием ВАК в зерне существуют две противоположные точки зрения. Западноевропейские и канадские специалисты в результате изучения полученных ранее самоопыленных линий озимой ржи пришли к заключению, что создание малопентозановых популяций возможно на основе использования редко встречающихся линий, отвечающих требованиям селекции зернофуражной ржи, хотя в литературе сведения о создании таких популяций не представлены (9-11). Другие авторы на основе исследований ржи, пшеницы, тритикале с использованием замещенных линий установили, что гены, контролируемые содержанием пентозанов в зерне, рассредоточены по всем хромосомам, что исключает возможность манипулировать ими при селекции (12).

Целью наших исследований была разработка технологии для селекции низкопентозановой зернофуражной озимой ржи и создание популяционных сортов, пригодных для использования в комбикормовой промышленности.

*Методика.* Поиск источников низкого содержания водорастворимых пентозанов в зерне проводили среди образцов коллекции ржи из мирового генофонда Всероссийского НИИ растениеводства (ВИР). Количество пентозанов в зерне определяли в соответствии с описанием (13). Для идентификации низкопентозановых генотипов в период кушения растений использовали оригинальный метод клоновых половинок с последующей биохимической оценкой зерна у каждого генотипа. Параллельно до цветения растений с целью сохранения их в генетической чистоте использовали инбридинг. Степень доминирования низкого содержания водорастворимых пентозанов в зерне определяли по формуле, предложенной P. Petr и K. Frey (14).

Коэффициенты вариации рассчитывали методами вариационной статистики (15).

*Результаты.* Главная причина ограничений в использовании зерна ржи на корм животным — избыточное количество водорастворимых пентозанов, которые образуют слизи, снижающие его пищевую ценность. По составу слизи в водных растворах и в пищеварительном тракте сильно различаются: первые, кроме пентозанов, включают большое число моносахаров, полисахаридов, белков и других веществ, вторые состоят только из пентозанов. В отличие от других сахаров пентозаны не гидролизуются ферментами человека и животных, не сбраживаются дрожжами. В связи с этим они проходят через весь пищеварительный тракт, не меняя физического и химического состава (16). Остальные полисахариды и вещества, входящие в состав слизей, гидролизуются в желудке животных, не нарушая процессы пищеварения и усвоения пищи.

Водорастворимые пентозаны зерна в зависимости от их локализации и функциональных особенностей можно разделить на две группы — пассивные и активные. Пассивные пентозаны находятся в клеточных стенках покровов зерновок (плодовой и семенной). Плодовая оболочка исполняет функцию защиты плода и семени от неблагоприятных условий внешней среды. Плодовая и семенная оболочки обеспечивают набухание зерновок. Особенность семенной оболочки состоит в том, что она, пропуская воду, непроницаема для других жидкостей (ацетона, спирта и др.). При набухании зерна вода диффузно поступает к зародышу и эндосперму. В процессе хранения зерна и механического перемещения плодовая оболочка может повреждаться, отшелушиваться и осыпаться, что создает возможность уменьшения количества пентозанов за счет утраты части покровов зерна. Некоторое количество пассивных пентозанов растворяется и вымывается при промывке зерна и подготовке к помолу. Активные (функциональные) пентозаны локализируются в клеточных стенках и межклеточниках алейронового слоя и служат первичным строительным материалом для клеточных стенок в период пробуждения прорастающего зародыша и возобновления деления клеток. При набухании зерна пентозаны алейронового слоя под действием собственных ферментов переходят из полимерного состояния в мономерное и принимают участие в обмене веществ и формировании клеток, в которых синтезируются новые молекулы пентоз для образования клеток в растущем зародыше. Этим можно объяснить факт уменьшения вязкости водного раствора при большом содержании пентозанов в прорастающем зерне.

Зерно популяций современной ржи содержит 7-13 % общих пентозанов. Водорастворимые арабиноксиланы в водной вытяжке зерна составляют 20-38 % по отношению к другим сахарам (6, 13, 16).

В результате обследования более 400 образцов озимой и яровой ржи из коллекции ВИР, представленных отечественными и зарубежными сортами и формами различного географического происхождения, готовых источников малого содержания ВАК (0,5-1,0 %) не обнаружили. Единичные малопентозановые формы отмечали в разных популяциях с частотой 0,01-20 % (последнее значение относится только к одному образцу из 400 изученных). В подавляющем большинстве случаев зародыши низкопентозановых зерен были гетерогенными. Признак в потомстве проявляли только гомогенные генотипы (растения). Среди фенотипически низкопентозановых зерновок гомогенные составляли от малых долей процента до нескольких процентов (это фиксировали довольно редко) в зависимости от их первоначальной частоты в популяциях.

Проведенное предварительно анатомо-морфологическое изучение зерновок ржи с низким содержанием ВАК показало уменьшение толщины перикарпия на 40-50 % по сравнению с таковым у высокопентозановых зерновок. Согласно исследованиям Е.Д. Казакова (17) и Л.Н. Любарского (18), средние показатели доли оболочки в составе зерна ржи варьируют от 7,4 до 12,4 % при толщине 60,1-101,4 мкм. Зерно пшеницы с содержанием ВАК в 3 раза ниже, чем у ржи, характеризуется в 2-3 раза меньшей толщиной оболочки.

Исходя из известного факта местонахождения арабиноксиланов в клеточных стенках, в том числе в зерновках, можно полагать, что основным местом локализации арабиноксиланов служат те ткани растений и зерновок, которые состоят из большого числа толстостенных клеток. Наиболее толстыми стенками характеризуются клетки алейронового слоя и покровов зерновки. Классические работы, проанализированные Ф.И. Дименштейн, А.И. Ермаковым и др. (6), указывают на накопление основного количества пентозанов в покровах зерновки и алейроновом слое.

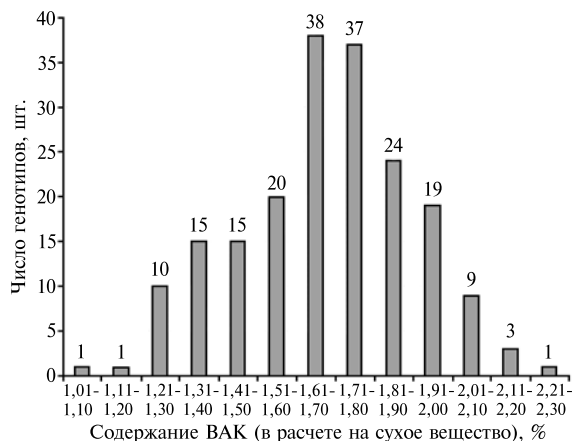
Выявленный нами большой размах вариаций биотипов в популяциях ржи по доле оболочек от массы зерновки позволяет распознавать и отбирать формы растений с «тонкопокровным» зерном. Мы обнаружили, что чем тоньше оболочка зерна, тем меньше в нем арабиноксиланов. В результате этот показатель был положен в основу идентификации низкопентозановых зерновок ржи.

При изучении наследования признака содержания ВАК в зерне обнаружили четкое доминирование или сверхдоминирование высокого содержания ВАК над низким у всех гибридов в F<sub>1</sub> и рецессивный характер наследования низкого содержания ВАК (табл. 1).

**1. Степень доминирования высокого содержания водорастворимых арабиноксиланов (ВАК, в расчете на сухое вещество) в зерне гибридов F<sub>1</sub> у озимой ржи (г. Санкт-Петербург—Пушкин)**

Комбинация скрещивания (сорта и линии)	Содержание ВАК, %			Степень доминирования, S (ha)
	♀	F <sub>1</sub>	♂	
Коминакс штамм 37/08 × Дымка	1,20	2,07	2,08	0,99
Минакс штамм 2/05 × Дымка	1,15	2,08	2,08	0,99
Эра Л 32/06 × Фаленская 4	1,32	2,03	2,01	1,00
Иммунная 762 × Дымка	1,43	2,17	2,08	0,97
Волхова 2 × Амило	1,46	2,01	2,00	1,03
Эра Л 74/06 × Дымка	1,20	2,09	2,08	1,03
Минакс штамм 173/06 × Коминакс штамм 37/08	1,20	1,20	1,20	0,00
Коминакс штамм 37/08 × Минакс штамм 2/05	1,20	1,20	1,15	0,01

У сорта озимой ржи Эра анализ структуры популяции по числу генотипов с неодинаковым содержанием ВАК в зерне указывал на их нормальное распределение (рис.).



Распределение генотипов по содержанию водорастворимых арабиноксиланов (ВАК) в зерне в популяции ржи сорта Эра.

Это характерно для полигенно контролируемых признаков, что позволяет использовать генотипы с крайними показателями по признаку для селекционных целей. Исходя из того, что содержание ВАК в зерне у растений ржи контролируют гены, размещенные во всех хромосомах (12), можно предположить, что этот признак обуславливают не менее чем семь локусов и большое число аллелей в каждом локусе. Отбор генотипов с нужным проявлением признака возможен при благоприятном сочетании всех локусов

в генотипе и аллелей каждого локуса.

Реципрокные скрещивания контрастных по содержанию ВАК форм ржи продемонстрировали отсутствие влияния отцовских компонентов на качество гибридных семян материнских растений, что свидетельствует о фенотипическом проявлении признака низкопентозановости, которое выражается в сохранении материнского фенотипа и непроявлении отцовского генотипа у гибридных семян (табл. 2.). Это означает, что в товарных посевах качество зерна сохранится при опылении растений пыльцой от форм с высоким содержанием ВАК. Расщепление по признаку будет наблюдаться в потомстве гибридных растений, выращенных из этих семян.

## 2. Содержание водорастворимых арабиноксиланов (ВАК) в гибридных семенах F<sub>1</sub> ржи при реципрокных скрещиваниях (г. Санкт-Петербург—Пушкин)

Компонент скрещивания	ВАК в семенах, %	Реципрокный гибрид	ВАК в гибридных семенах, %
Клон 289/07	2,00	Клон 289/07 × Клон 246/07	2,00
Клон 246/07	0,53	Клон 246/07 × Клон 289/07	0,54
Клон 74/07	1,20	Клон 74/07 × сорт Дымка	1,20
Сорт Дымка	2,08	Сорт Дымка × Клон 74/07	2,08

Примечание. Клоны получены из сорта Эра.

Для обеспечения генетической чистоты селекционных низкопентозановых материалов посевы первичного семеноводства, элиты и товарного семеноводства необходимо размещать в местах, исключающих возможность их переопыления чужеродной пыльцой.

Популяции ржи по содержанию ВАК в зерне в течение 5 лет проявили различную реакцию на условия года: у одних популяций она была сильной ( $Cv = 10,3-14,1\%$ ), у других — слабой ( $Cv = 2,7-3,9\%$ ), что указывает на возможность создания сортов ржи, стабильно сохраняющих низкое содержание ВАК в течение многих лет (19).

Изучение наследования и изменчивости признака низкопентозановости зерна позволило создать исходный материал, не нарушая комплекса других селекционно ценных признаков, и разработать технологии селекции ржи с низким содержанием ВАК в зерне.

По внешнему виду тонкопокровные низкопентозановые зерна заметно отличаются от толстопокровных. Их оболочки более гладкие, прозрачные и выглядят стекловидными. В связи с этим можно проводить визуальный отбор низкопентозановых зерновок, колосьев и растений, не прибегая к биохимической оценке (know how). Выявление тесной связи между толщиной оболочек зерна и содержанием ВАК в зерне дало нам возможность выдвинуть гипотезу о закономерности и взаимной обусловленности двух указанных факторов и, исходя из такой причинно-следственной связи, сформулировать стратегию селекции малопентозановой ржи: селекция ржи на снижение количества водорастворимых арабиноксиланов в зерне должна осуществляться посредством уменьшения доли оболочек в составе зерновок при улучшении химического состава эндосперма.

Мы предложили несколько вариантов технологий, позволяющих дифференцировать растения популяций изучаемых сортов озимой ржи по содержанию ВАК в зерне.

Метод клоновых половинок предполагает увеличение числа первичных растений, то есть образцов индивидуального генотипа, при многократном расчленении куста каждого растения озимой ржи до получения нескольких десятков кустов (клонов) того же растения. При использовании метода клоновых половинок для каждого первичного растения (генотипа) изучаемой популяции в течение весны—лета (до ухода на зимовку) получают до 25-30 клонов. На следующий год в период выколашивания растений половину (50 колосьев) каждого клонированного генотипа изолируют до цветения с целью получения самоопыленных потомств. Зерно свободно опыленных колосьев второй части клонов этих же генотипов используют для биохимического анализа на содержание ВАК или для визуального отбора тонкопокровных зерен, по результатам которых определяют пригодность зерна самоопыленной части клонов для селекции. Метод клоновых половинок позволил идентифицировать в пределах популяций разных сортов более 90 источников малого содержания ВАК в зерне, которые можно использовать в селекции.

Метод внутрипопуляционных накопительных скрещиваний предполагает последовательный массовый отбор тонкопокровных зерновок с выращиванием полученных из них растений в изолированных условиях для внутрипопуляционного накопительного скрещивания. В каждом последующем поколении (G-генерации) повторяют отбор форм и их внутрипопуляционное скрещивание, что способствует накоплению тонкопокровных зерновок и увеличению их частоты, начиная с G<sub>2</sub> и G<sub>3</sub>; процедуру накопления проводят минимум в течение 7-8 генераций. В потомствах G<sub>7</sub> частота тонкопокровных гомогенных зерновок достигает 20 % и более. Это соответствует такому же количеству гомогенных генотипов растений с низким содержанием ВАК в зерне.

Метод попарных переопылений может быть использован для отбора растений, гомогенных по признаку низкого содержания ВАК в зерне. Для гарантированного получения положительных результатов исследований сеют не менее 500 тонкопокровных зерновок из урожая последней генерации G<sub>7</sub>-G<sub>8</sub> из накопительного внутрипопуляционного скрещивания. Растения размещают в полевых условиях при густоте посева 10×15 см. После выколашивания и удаления из посева нежелательных форм оставленные растения изолируют попарно для взаимного переопыления (know how). После созревания зерно каждого растения изолированной пары оценивают визуально. Отбирают те пары, у которых оба растения имеют тонкопокровное зерно. Зерно отобранных пар с учетом других селекционных

признаков используют для создания популяции ржи с низким содержанием ВАК в зерне. Общее содержание ВАК в зерне урожая создаваемой популяции определяют биохимическим методом. Предложенный метод парных переопылений рекомендуется использовать в первичном семеноводстве для отбора элитных пар растений.

На основе полученных материалов завершено создание и предварительное изучение 5 доноров и 7 предсортов озимой ржи с низким (0,31-0,68 %) содержанием ВАК в зерне. Доноры Минакс штамм 2/05, Коминакс штамм 37/08, Компус штамм 84/04, Крузероминвак штамм 37-1/10 (штамм — потомство одного клона), Тринодис 4 характеризуются короткостебельностью, крупнозерностью, устойчивостью к бурой и стеблевой ржавчине, устойчивостью к фузариозной корневой гнили, низким содержанием ВАК (0,5-0,9 %) в зерне.

### 3. Характеристика предсортов озимой ржи с низким содержанием водорастворимых арабиноксианов (ВАК) в зерне, полученных во Всероссийском НИИ растениеводства (ВИР, г. Санкт-Петербург—Пушкин)

№ по каталогу ВИР	Название	Потенциал урожайности зерна, г/м <sup>2</sup>	Физический показатель качества зерна		Содержание в зерне (в расчете на сухое вещество), %			Куда переданы
			масса 1000 зерен, г	натура, г/л	ВАК	белка	крахмала	
к-11814	Новая Эра <sup>а</sup>	856	37,1	705	0,64	8,8	53,4	ГНУ Псковский НИИ сельского хозяйства (НИИСХ)
к-11815	Этеч (Бройлер) <sup>а</sup>	722	35,8	766	0,68	13,3	50,4	ГНУ Башкирский НИИСХ
к-11804	Джин <sup>а</sup>	763	39,6	749	0,53	9,0	50,1	ГНУ Уральский НИИСХ
к-11816	Подарок <sup>б</sup>	850	36,0	782	0,64	8,6	50,7	ГНУ Татарский НИИСХ
к-11817	Фаленская универсальная <sup>б</sup>	801	32,6	754	0,68	9,8	48,3	ГНУ НИИСХ Северо-Востока
к-11818	Енисейка 2 <sup>б</sup>	713	34,2	746	0,31	13,9	47,0	ГНУ Красноярский НИИСХ
к-11819	Вавиловская универсальная <sup>б</sup>	847	35,1	757	0,42	9,9	47,3	ГНУ Тульский НИИСХ

Примечание. Предсорты созданы методом клоновых половинок с использованием отбора — по результатам биохимического анализа зерна (а) и по признаку тонкопоровности зерна (б).

Семена популяций предсортов (Новая Эра, Этеч, Джин, Подарок, Фаленская универсальная, Енисейка 2, Вавиловская универсальная, 3-11 кг) переданы в научно-исследовательские учреждения России для дальнейшего размножения, изучения кормовой ценности и последующего сортоиспытания, а также для развития нового направления в селекции зернофуражной озимой ржи (табл. 3). Предсорты были созданы методом клоновых половинок с использованием разных критериев отбора по признаку ВАК: популяции Новая Эра, Этеч и Джин отбирали по результатам биохимического анализа зерна (содержание ВАК в зерне — в пределах 0,53-0,68 %), Подарок, Фаленская универсальная, Енисейка 2 и Вавиловская универсальная — по признаку тонкопоровности зерна (содержание ВАК — в пределах 0,31-0,68 %), что свидетельствует о возможности отбора низкопентозановой ржи без применения биохимического анализа. Предсорты характеризуются высокой урожайностью зерна (713-856 г/м<sup>2</sup>), повышенной массой 1000 зерен, увеличенным содержанием белка в зерне (8,6-13,9 %).

Первые эксперименты по определению кормовой ценности созданных низкопентозановых сортов ржи показали, что их зерно охотно поедается и эффективно переваривается животными. При скармливании зерна ржи с низким (0,51 %) содержанием водорастворимых пентозанов моло-

дым крысам в течение 36 сут полученный прирост живой массы особей был на 20 % выше, чем при кормлении свиным комбикормом. Никаких проявлений отрицательных ощущений у животных не наблюдали. Эти результаты убедительно доказывают правильность выбранного направления в селекции зернофуражной ржи. Исследование хлебопекарных свойств зерна у низкопентозанового сорта Этеч также дало хорошие результаты: низкое содержание (0,68 %) арабиноксиланов в зерне не ухудшило его хлебопекарных качеств.

Таким образом, у сортов ржи нового поколения значительное снижение количества водорастворимых арабиноксиланов в зерне при сохранении хороших хозяйственно ценных качеств и свойств делают эту рожь культурой универсального использования, пригодной как для зернофуражного, так и для пищевого употребления. Она становится экономически привлекательной и конкурентоспособной среди сортов не только ржи, но и других зерновых культур и не исключено, что в перспективе сможет заменить традиционную возделываемую в настоящее время рожь, которая используется преимущественно для хлебопечения.

*Авторы выражают благодарность Л.И. Кузнецовой и Н.С. Лаврентьевой (Санкт-Петербургский НИИ хлебопекарной промышленности) и И.В. Линеговой (Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины) за плодотворное сотрудничество.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Озимая рожь. Возделывание, использование на пищевые, кормовые и технические цели. Проблемы и решения. М., 2007.
2. Кобылянский В.Д. Рожь. Генетические основы селекции. М., 1982.
3. Симмонд Д.Х., Кембелл У.П. Морфология и химия зерна ржи. В кн.: Рожь: производство, химия и технология. М., 1980: 90-153.
4. Hulse J.H., Laing E.M. Nutritive value of triticale protein. Int. Develop. Res. Cent., Ottawa, Canada, 1974: 96.
5. Соловьева В.Ф. Содержание ингибиторов трипсина в семенах и продуктах переработки зернобобовых. Проблемы харчування (Київ), 2003, 1: 34-37.
6. Дименштейн Ф.И., Ермаков А.И., Княжичев М.И. и др. Биохимия ржи. В кн.: Биохимия культурных растений. М.-Л., 1958, т. 1: 165-232.
7. Boros D. Quality aspects of rye for feed purposes. Vortr. Pflanzenzücht., 2007, 71: 80-85.
8. Суган М., 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. J. Anim. Feed Sci., 1995, 4: 217-227.
9. Boros D., Madej L., Jagodzinski J. Perspectives of selection for better nutritive quality of rye. Plant Breed. Seed. Sci., 1997, 41: 81-89.
10. Falme W., Dill P., Jansen G., Roux S. Developing rye germplasm for alternative uses: Quality assessment methods and progress from selection. Vortr. Pflanzenzücht., 1997, 35: 129-138.
11. Kolasinska I., Boros D., Madej L., Cygankiewicz A. Quantitative characteristics of rye inbred lines. Proc. the EUCARPIA Rye Meeting (Juli 4-7, 2001). Radzicow, Poland, 2001: 315-318.
12. Boros D., Lukaszewski A., Aniol A. Location of genes controlling of dietary fibre and arabinosilans in rye. Proc. the EUCARPIA Rye Meeting (Juli 4-7, 2001). Radzicow, Poland, 2001: 287.
13. Delcour J.A., Vanhamel S., De Geest C. Physico-chemical and functional properties of rye non-starch polysaccharides. I. Colorimetric analysis of pentosans and their relative monosaccharide compositions in fractionated (milled) rye products. Cereal Chem., 1989, 66(2): 107-111.
14. Petr P., Frey K. Genotypic correlations. Dominance and heritability of quantitative characters in oats. Crop Sci., 1966, 6(3): 259-262.
15. Снедекор Д.У. Статистические методы в применении к исследованиям в сельском хозяйстве и биологии. М., 1964.
16. Плешков Б.П. Биохимия сельскохозяйственных растений. М., 1965.



17. Казаков Е.Д. Количественное соотношение и зольность составных частей зерна ржи. ДАН СССР, 1947, 58(6): 1081-1082.
18. Любарский Л.Н. Рожь (биолого-технологические свойства зерна). М., 1956.
19. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. Основы селекции малопентозановой ржи. Тр. по прикладной ботанике, генетике и селекции, 2009, 166: 112-118.

*ГНУ Всероссийский НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова Россельхозакадемии,*  
190000 г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 44,  
e-mail: osolodukhina@yandex.ru, v.kobylyansky@vir.nw.ru

*Поступила в редакцию*  
*28 августа 2012 года*

## THE THEORETICAL BASIS OF GRAIN FODDER RYE BREEDING FOR LOW WATER SOLUBLE PENTOSANS

*V.D. Kobylyansky, O.V. Solodukhina*

### Summary

To breed winter rye with low content of water soluble arabinixylans (WS-AX) in grains the search of initial material was carried out in 400 samples from World Collection of All-Russian Institute of Plant Industry (VIR). The revealed variability for WS-AX content was shown to be insufficient for low pentosans' rye breeding. However, low pentosans biotypes (0.5-1.0 %) were found in the populations, for identification of which the method of «clonal halves» was elaborated. All F<sub>1</sub> hybrids displayed clear dominance or overdominance of high WS-AX content over low one and recessive character of low WS-AX content inheritance. Reciprocal crosses of rye forms differing in WS-AX contents showed absence of paternal components influence on WS-AX content in grains of maternal plants. The results of crosses will become apparent only in the second hybrid generation. On the basis of anatomic-morphological research of rye grains with low WS-AX content the strategy of low pentosans' rye breeding has been formulated (reduction of seed coat portions at endosperm chemical composition improvement). With use of this strategy breeding materials were obtained and 7 fodder rye populations (pre-varieties) with low WS-AX content in grains have been created.

### Новые книги

**Никифоров М.Е. Формирование и структура орнитофауны Беларуси.** Минск: изд-во «Беларуская навука», 2008, 297 с.

В монографии излагаются подходы и результаты реконструкции истории формирования орнитофауны центральной части Европы, включая территорию Беларуси, в процессе завершения и после окончания эпохи плейстоценовых оледенений. Исследования осуществлялись с применением комплексного историко-биогеографического метода с привлечением данных по палеофаунистике, палеоботанике, палеофлористике и палеоклиматологии. На основе анализа ареалов монотипических видов, а также подвидов политипических видов птиц центральной Европы проведены их типизация и выделение орнитофаунистических голоценовых комплексов, определение закономерностей и моделей расселения таксономически дифференцированных популяций в позднем плейстоцене и голоцене. Дана характеристика орнитогеографической структуры фауны птиц на территории Беларуси и ее фауногенетическая интерпретация. Обоснована система и локализация рефугиумов и рефугиальных зон Европы, давших начало расселению географически разделенных популяций птиц, а также перигляциальных плейстоценовых ареалов криофильных видов птиц. Проведены орнитофаунистические реконструкции суббореала голоцена и

сравнительный анализ структуры фауны водноболотных птиц Беларуси на основе палеорнитологических данных. Оценена динамика орнитофауны Беларуси в XX столетии и влияние на нее глобальных климатических изменений. Предназначена для специалистов в области зоологии, биогеографии, преподавателей, студентов и аспирантов биологической и географической специальностей, широкого круга читателей, интересующихся птицами.

**Давыдов Ю.П., Давыдов Д.Ю. Формы нахождения металл-ионов (радионуклидов) в растворе.** Минск: изд-во «Беларуская навука», 2011, 301 с.

В монографии излагаются закономерности процессов взаимодействия радионуклидов (металл-ионов) с молекулами воды с образованием последовательного ряда моноядерных и полиядерных гидроксокомплексов, частиц коллоидного размера. Даны примеры, показывающие роль гидроксокомплексов металл-ионов как катализаторов ряда процессов, их специфической сорбционной, экстракционной активности, что находит практическое применение при разработке способов разделения и выделения веществ из растворов. Предназначена для радиохимиков, геохимиков, биохимиков, геологов, океанологов, специалистов, связанных с проблемами охраны и использования водных ресурсов, преподавателей и студентов.