

**Materials and methods.** Evaluation of 78 collection samples of winter wheat for resistance to leaf rust was conducted on an artificial infectious background in the field during 2013 - 2014.

**Results and discussion.** Meteorological conditions during years of the study were characterized by fever and unstable air moisture. So, in 2013 during the growing season HTC was 1.3, and in 2014 was 1.6. From the collection of winter wheat, which we studied in 2013-2014 years, 60 samples (76.9%) were high resistant. 12 samples were immune (15.4%), they were originating mainly from the United States and Hungary.

**Conclusions.** Within two years of research to determine the stability of the collection material of winter wheat against leaf rust in the conditions of artificial infection background. Among the 78 samples there were 12 immune, 48 highly resistant, 11 resistant, 5 moderately susceptible, 2 susceptible. Emphasis immune samples Beres, Lurda 81, Lindon, Co 7250-49, Co 7250-50, HBE 384, Mc Nair 2203, Century, TAM-200, Arthur 71, Rochy and Polovchanka, You need to attract crossover and used in breeding work towards the creation of varieties with increased resistance to leaf rust.

*Key words: winter wheat, samples, resistance, brown rust*

УДК 633.14:664.746.

### **НОВЫЕ ПОДХОДЫ В СЕЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА**

Гончаренко А. А., Ермаков С. А., Макаров А. В., Семенова Т. В., Точилин В. Н.,  
Крахмалева О. А., Осипова А. В., Лазарева Е. Н., Яшина Н. А.

Московский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Немчиновка»  
Россия

Представлены результаты дивергентного отбора по вязкости водного экстракта (ВВЭ) на базе сортов озимой ржи Альфа и Московская 12. Эффективность отбора зависела как от генотипа сорта, так и от направления отбора. Отбор в плюс-направлении был более эффективным, чем в минус-направлении. Асимметричность ответа проявилась во всех циклах отбора. Высоковязкие популяции имели лучшие хлебопекарные качества зерна, чем низковязкие. Их превосходство проявилось в более высокой натуре зерна (на 4,9 %), крупности зерна (на 14,8 %), числе падения (на 90 с), высоте амилограммы (на 328 е.а.), температуре клейстеризации (на 2,5 °С). Низковязкие популяции давали сильно расплывающийся хлеб с крупнопористым, липким и заминающимся мякишем.

*Ключевые слова: озимая рожь, дивергентный отбор, вязкость водного экстракта, хлебопекарное качество*

**Введение.** Зерно озимой ржи традиционно используется для производства хлеба, спирта, крахмала, солода, но очень мало для кормления животных [1]. По этой причине ежегодно значительная часть полученного урожая ржи остается невостребованной, что не стимулирует рост ее производства. Обусловлено это тем, что рожь в сравнении с другими зерновыми культурами содержит относительно много некрахмальных полисахаридов (пентозанов) [2], которые нежелательны в кормовом отношении, так как нарушают процесс пищеварения у животных, снижают переваримость питательных веществ корма и негативно влияют на их продуктивность [3].

**Анализ литературных источников, постановка проблемы.** Из-за высокого содержания некрахмальных полисахаридов рожь в комбикормах для животных используют с различными ограничениями и только в смеси с другими зерновыми культурами. Вместе с тем при хлебопечении пентозаны играют положительную роль, улучшая хлебопекарные качества зерна ржи. При тестообразовании они выполняют функцию клейковинных белков, обеспечивая вязкость и формоустойчивость теста, улучшают структурно-механические свойства хлебного мякиша [4].

Из-за высокого содержания пентозанов практически все возделываемые сорта ржи относятся к категории хлебопекарных, а потому по многим показателям не соответствуют требованиям, предъявляемым к кормовому зерну [5]. Зернофуражная рожь в отличие от хлебопекарной должна иметь низкое содержание пентозанов, особенно водорастворимой его фракции. Следовательно, задачи селекции ржи на зернофуражную и хлебопекарную пригодность не совпадают, их следует решать по независимым селекционным программам [6]. Считается [7], что такой подход будет способствовать расширению сферы хозяйственного использования ржи и увеличению рыночного спроса на зерно этой культуры. Задача состоит в том, чтобы дать потребителю разнообразные по цели использования сорта и гибриды, пригодные не только для хлебопечения, но и для использования на корм животным. Особенно остро потребность в создании таких сортов ощущается в областях Нечерноземной зоны, Поволжья, Урала и Западной Сибири, где рожь является главной культурой озимого поля.

Содержание общих пентозанов в зерне ржи на межсортовом уровне варьирует незначительно (9,2–11,5 %) [8], однако на их экспрессию существенно влияют экологические факторы. Основным структурным компонентом некрахмальных полисахаридов являются пятиуглеродные сахара – арабиноза и ксилоза (т.н. арабиноксиланы – АК), которые способны давать высоковязкие водные растворы при относительно низкой концентрации [9]. Установлено [10], что потенциал вязкости водного экстракта находится в прямой зависимости от содержания водорастворимых АК в зерне ржи ( $r=0,97$ ), в связи с чем он может служить косвенным индикатором их количественного содержания. Оказалось, что вязкость водного экстракта отрицательно ( $r=-0,82$ ) коррелирует с переваримостью белка у крыс [11], а добавка в рацион ферментов ксиланазы и арабинозидазы, способствующих деполимеризации АК, устраняет вредный эффект ржаного компонента корма, причем эффект от добавки ферментов тем больше, чем меньше содержится зерна ржи в рационе [5]. Отсюда возникает дополнительная проблема: низкую энергетическую ценность ржаного рациона нельзя компенсировать путем увеличения дозы корма, взамен ржи нужно добавлять другую культуру. Следовательно, для улучшения кормовой ценности зерна ржи необходимо вести целенаправленную селекцию на низкое содержание АК, с тем чтобы обеспечить низкую вязкость ржаного корма в желудке животных. Считается, что такие сорта ржи будут успешно конкурировать с тритикале [12]. Некоторые исследователи полагают, что молекулярная структура водорастворимых АК играет более важную роль, чем их количественное содержание [13].

В свете вышеизложенного особый интерес представляет создание методами селекции сортов ржи с контрастной вязкостью водного экстракта (ВВЭ). Представляется [7], что методом разнонаправленного отбора можно изменить биохимическую структуру некрахмальных полисахаридов в соответствии с задачами селекции: 1) увеличить содержание трудно гидролизующихся арабиноксиланов, улучшив хлебопекарные свойства, или 2) снизить их доленое участие, улучшив кормовую ценность зерна.

Начало целенаправленной селекции озимой ржи на экстрагируемую вязкость положили канадские исследователи [14, 15]. Они выявили большие различия по величине привеса цыплят-бройлеров, получавших ржаную диету на базе разных сортов. По их данным, сорта-популяции озимой ржи отличаются большим внутрисортовым варьированием по ВВЭ, а сам этот признак имеет высокую наследуемость ( $h^2=0,69$ ), что дает основание использовать его в качестве критерия для отбора. Он положительно связан с числом падения ( $r=0,87$ ), но сильно варьирует от погодных условий в период налива зерна и места выращивания. Сходная взаимосвязь между этими признаками выявлена и у гибридных сортов

ржи [16]. Позднее польские исследователи показали, что можно отселектировать инбредные линии ржи с минимально высокой и предельно низкой ВВЭ и на их базе получить соответствующие гибриды [17]. Установлено, что на потенциал экстрагируемой вязкости существенно влияют не только условия произрастания, но и генотип сорта, причем светлозерные (безантоциановые) формы отличаются более низким содержанием всех фракций пентозанов и более низким уровнем ВВЭ, чем зеленозерные [18].

**Цель и задачи исследования.** Цель настоящей работы – оценить эффективность 9-кратного дивергентного отбора по признаку ВВЭ, исследовать сортовую специфику в реакции на отбор, изучить степень асимметричности селекционного сдвига и определить его коррелятивное влияние на технологические и хлебопекарные качества зерна.

**Материалы и методы.** Исходным материалом для отбора по ВВЭ послужили популяционные сорта озимой ржи Альфа и Московская 12. Эти сорта неродственны по происхождению и создавались по разным селекционным программам, поэтому значительно различаются по некоторым признакам. Прежде всего это касается числа падения, по которому сорт Альфа интенсивно селектировался на протяжении 20 лет, из-за чего превосходит Московскую 12 в среднем на 45 с. В свою очередь сорт Московская 12 стабильно превышает Альфу по массе 1000 зерен (на 2,4 г) и натуре зерна (на 8 г/л). По признаку вязкости исходные сорта также существенно (на 5 % уровне значимости) различались: средний уровень его у сорта Московская 12 составил  $6,7 \pm 0,38$  сП, а у сорта Альфа –  $5,6 \pm 0,15$  сП.

Относительную вязкость водного экстракта зернового шрота измеряли в сантипуазах (сП) на роторном вискозиметре VT5L/R по методике, описанной нами ранее [19]. Оценку проводили по растениям, для чего от каждого из них брали по 5 г зерна для анализа, а оставшееся сохраняли в резерве. Первый цикл дивергентного отбора провели в 2005–2006 гг. (2005 г. – год отбора, 2006 г. – год переопыления растений), а всего за 2006–2014 гг. по обоим сортам последовательно провели девять циклов такого отбора. Ежегодный объем исходной выборки по каждому сорту составлял 160 растений в фазе полной спелости при каждом цикле отбора. Дивергентные популяции получали путем смешивания резервных семян от каждого из 20 родоначальных растений, которые по признаку вязкости отклонялись на величину  $\pm 1,5$  сП от популяционной средней. Полученные таким образом четыре популяции (две от плюс-отбора и две от минус-отбора) ежегодно высевали на пространственно изолированных делянках площадью 10 м<sup>2</sup> для свободного переопыления и проведения последующих циклов отбора. По каждому циклу в селектируемых популяциях определяли коэффициент вариации (Cv, %) по признаку ВВЭ, а также измеряли натуру зерна и массу 1000 зерен. Оценку хлебопекарных качеств зерна проводили методом пробной лабораторной выпечки подового и формового хлеба из обойной муки. Формоустойчивость теста (отношение Н/D) измеряли посредством отношения высоты подового хлеба к его диаметру, а качество формового – методом глазомерной оценки физических свойств мякиша (пористости, липкости и упругости), внешнего вида и измерения объемного выхода хлеба. Высоту амилограммы и температуру клейстеризации крахмала определяли на амилографе Брабендера, число падения (ЧП) – на приборе Хагберга-Пертена, содержание белка и крахмала в зерне – на инфракрасном спектрометре Spectra Star 2400.

**Обсуждение результатов.** Динамика признака ВВЭ в селектируемых популяциях по циклам и вариантам отбора представлена в таблице 1. На эффективность отбора значительно влияли не только генотип сорта, но и направление отбора. Последовательный отбор потомств высоковязких растений обусловил увеличение потенциала вязкости у сорта Альфа с 5,6 сП до 17,4 сП, а у сорта Московская 12 – с 6,7 сП до 55,5 сП. С каждым циклом отбора дивергенция между субпопуляциями возрастала, однако у сорта Альфа она достигалась менее интенсивно, чем у сорта Московская 12.

После девяти циклов отбора дивергентные популяции из сорта Альфа по признаку ВВЭ различались между собой в 7,2 раза, а популяции из сорта Московская 12 – в 12,3 раза. Причиной такой неоднозначной сортовой реакции на отбор могли быть изначальные различия по уровню фенотипической дисперсии селектируемого признака у исходных сортов. Доказательство тому – двукратная разница по величине среднего квадратического отклонения (σ), которое составило 1,87 для сорта Альфа и 3,81 для сорта Московская 12.

Результаты дивергентного отбора по ВВЭ у сортов Альфа и Московская 12

Год, цикл отбора	Альфа ВВ		Альфа НВ		Мос-12 ВВ		Мос-12 НВ	
	$\bar{X}$	$Cv$	$\bar{X}$	$Cv$	$\bar{X}$	$Cv$	$\bar{X}$	$Cv$
2005 (0)	5,6	33,4	5,6	33,4	6,7	56,8	6,7	56,8
2006 (1)	8,5	30,7	5,1	24,9	18,9	47,4	6,1	41,1
2007 (2)	11,7	28,1	5,0	31,5	19,8	39,8	6,4	27,2
2008 (3)	6,8	46,8	4,2	28,7	11,9	57,3	4,4	24,7
2009 (4)	15,3	38,8	5,4	36,8	26,8	41,1	6,6	27,9
2010 (5)	19,3	41,1	4,8	37,9	40,4	49,1	6,7	30,4
2011 (6)	37,0	66,0	5,8	50,7	103,2	75,5	8,0	55,4
2012 (7)	29,3	75,9	4,1	45,8	78,4	59,9	6,5	41,4
2013 (8)	27,5	67,9	3,3	49,2	85,6	80,4	5,9	36,2
2014 (9)	17,4	38,7	2,4	33,9	55,5	46,3	4,5	31,8

Примечание. ВВ – высокая вязкость, НВ – низкая вязкость,  $\bar{X}$  – популяционное среднее, сП;  $Cv$  – коэффициент вариации, %.

Почти такая же двукратная разница между сортами имела место по коэффициенту внутри-популяционного варьирования ( $Cv=33,4\%$  и  $56,8\%$  соответственно по сортам).

После девяти циклов разнонаправленного отбора селекционируемые популяции из сорта Альфа разошлись друг от друга на 15,0 сП, а популяции из сорта Московская 12 – на 51,0 сП (рис. 1, 2).

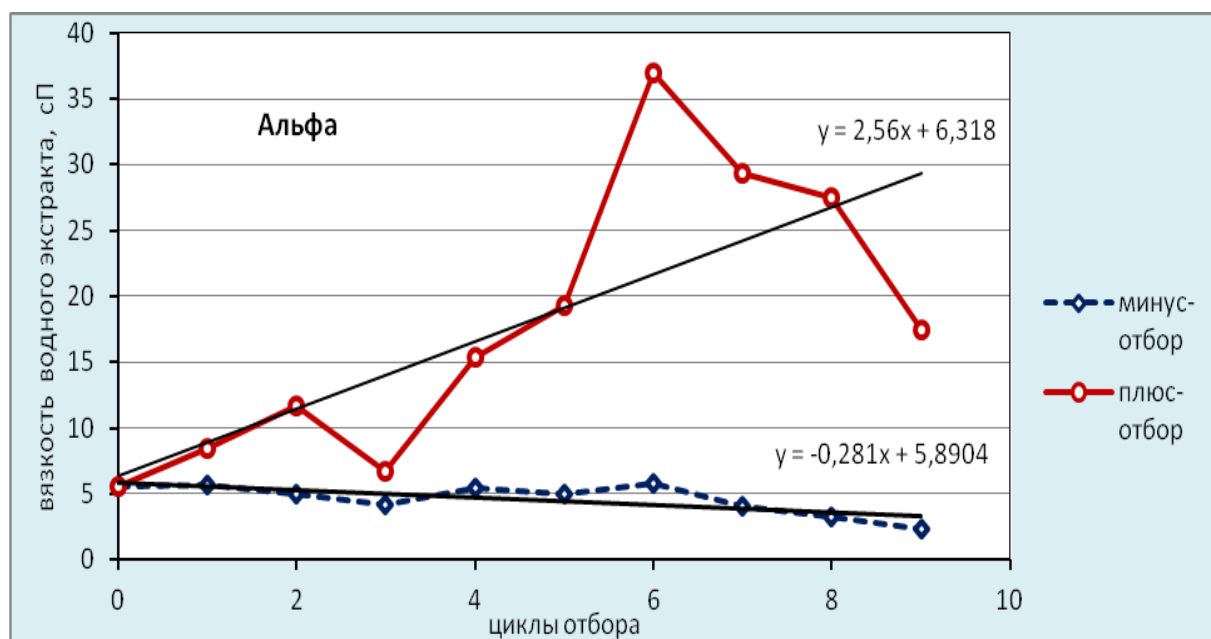
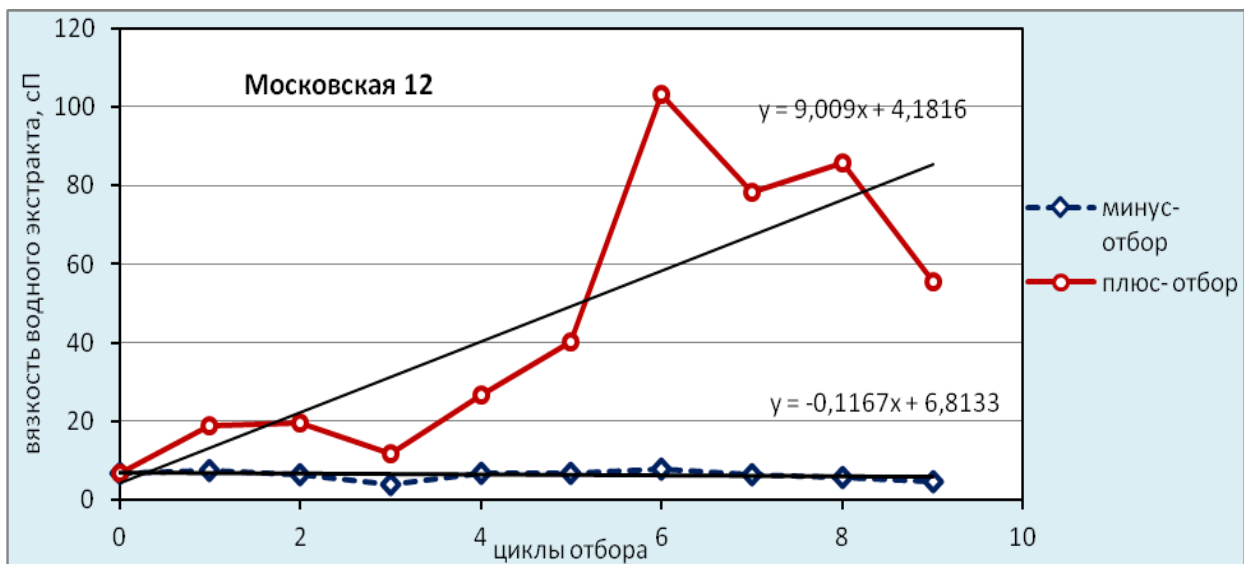


Рис. 1. Дивергенция субпопуляций из сорта Альфа по вязкости водного экстракта

Здесь следует отметить две характерные особенности. Первая состоит в том, что на первых циклах отбора (1-4) дивергенция была выражена слабее, чем в последующих циклах (5-9). Вторая состоит в четко выраженной асимметричности ответа на разнонаправленный отбор: у обоих сортов селекционный сдвиг в плюс-направлении был значительно выше, чем в минус-направлении. Асимметричность ответа сохранялась во всех циклах отбора, однако на ее размах существенно влиял и генотип сорта: отбор высоковязких генотипов у сорта Альфа увеличивал ВВЭ в среднем на 2,56 сП за один цикл, а у сорта Московская 12 – на 9,01 сП или в 3,5 раза больше. Отбор низковязких генотипов был менее эффективным и в каждом цикле приводил к снижению признака вязкости на 0,28 сП у Альфы и на 0,12 сП у Московской 12. Можно сказать, что дивергенция между популяциями достигалась в основном за счет большего сдвига популяции в сторону высокой вязкости.



**Рис. 2.** Дивергенция субпопуляций из сорта Московская 12 по вязкости водного экстракта

При минус-отборе селекционный сдвиг достигался не только медленно, но и слабо варьировал под влиянием погодных условий года. Наоборот, эффективность отбора в плюс-направлении более сильно изменялась под влиянием погодных условий года.

Таковыми оказались 2008 год, когда из-за дождливой погоды и сильного полегания растений эффективность отбора высоковязких генотипов оказалась предельно низкой, а также 2011 год, когда сложились благоприятные условия для формирования зерна с высокой вязкостью, в результате чего отбор в плюс-направлении выявлял генотипы преимущественно с сильно завышенной вязкостью.

Причиной асимметричности распределения могут быть разные факторы: случайный дрейф генов из-за малой выборки при отборе, инбредная депрессия, различие в селекционных дифференциалах, генетическая асимметрия. Последняя в нашем случае наилучшим образом объясняет асимметричный эффект отбора. Мы полагаем, что гены, ответственные за высокую вязкость водного экстракта, являются доминантными по своей природе, имеют высокую изначальную частоту в популяции и проявляют сильный аддитивный эффект, из-за чего успех при плюс-отборе достигается быстрее и сильнее, чем при минус-отборе. Признак низкой вязкости, наоборот, детерминируется рецессивными аллелями с относительно низкой их частотой в исходной популяции и более слабым аддитивным эффектом. Если это так, то причиной асимметричности распределения является первоначальная асимметрия частот всех генов, влияющих на потенциал признака вязкости в исходной популяции. При этом генофонд сорта Московская 12, предположительно, характеризуется более высокой частотой доминантных генов, ответственных за высокую ВВЭ, тогда как для сорта Альфа характерна более высокая обогащенность рецессивными генами, детерминирующими низкую вязкость.

В свете вышеизложенного важно ответить на вопрос, почему на популяционном уровне за низкую вязкость отвечают рецессивные гены с относительно низкой частотой, а за высокую – доминантные гены с высокой частотой. Нам представляется, что причиной тому является естественный отбор, который противодействует генотипам с низкой вязкостью, а благоприятствует генотипам с высокой вязкостью. Это вполне укладывается в концепцию о том, что признак ВВЭ является важным компонентом естественной приспособленности у ржи, которая по экстрагируемой вязкости значительно превосходит другие зерновые культуры [3].

Селекционный интерес представляет характер динамики внутривнутрипопуляционного варьирования признака ВВЭ под влиянием проведенного отбора. Наши данные показывают, что после девяти циклов отбора в плюс-направлении оба сорта проявили положительный тренд внутривнутрипопуляционной изменчивости ( $C_v$ ), т. е. уровень генотипической измен-

чивости у них не снижался, а даже возрастал. Что касается отбора в минус-направлении, то здесь тренд был положительным только у сорта Альфа и отрицательным у Московской 12, что могло быть обусловлено изначально низкой частотой генов, ответственных за низкую вязкость у последнего.

Тенденцию к усилению внутривидового варьирования признака вязкости при плюс-отборе мы объясняем тем, что в результате многократного ассортативного скрещивания высоковязких генотипов в популяции появляются и накапливаются новые рекомбинации генов, которых не было в исходной популяции. В итоге селекционируемая популяция постоянно обогащается высоковязкими генотипами, усиливая генетическую неоднородность популяции. При отборе низковязких генотипов новые рекомбинации не образуются или же они имеют слабый эффект, из-за чего генетический сдвиг достигается медленно и уровень неоднородности проявляется слабо. Тем не менее, во всех вариантах отбора масштабы доступной генетической изменчивости можно считать достаточными для продолжения отбора. Это указывает на высокую пластичность наследственной системы изучаемых сортов. Следовательно, проблема состоит не в обеспечении высокой генетической изменчивости внутри популяции, а в том, как сосредоточить в ней как можно больше полезных аллелей, контролирующих признак экстрагируемой вязкости.

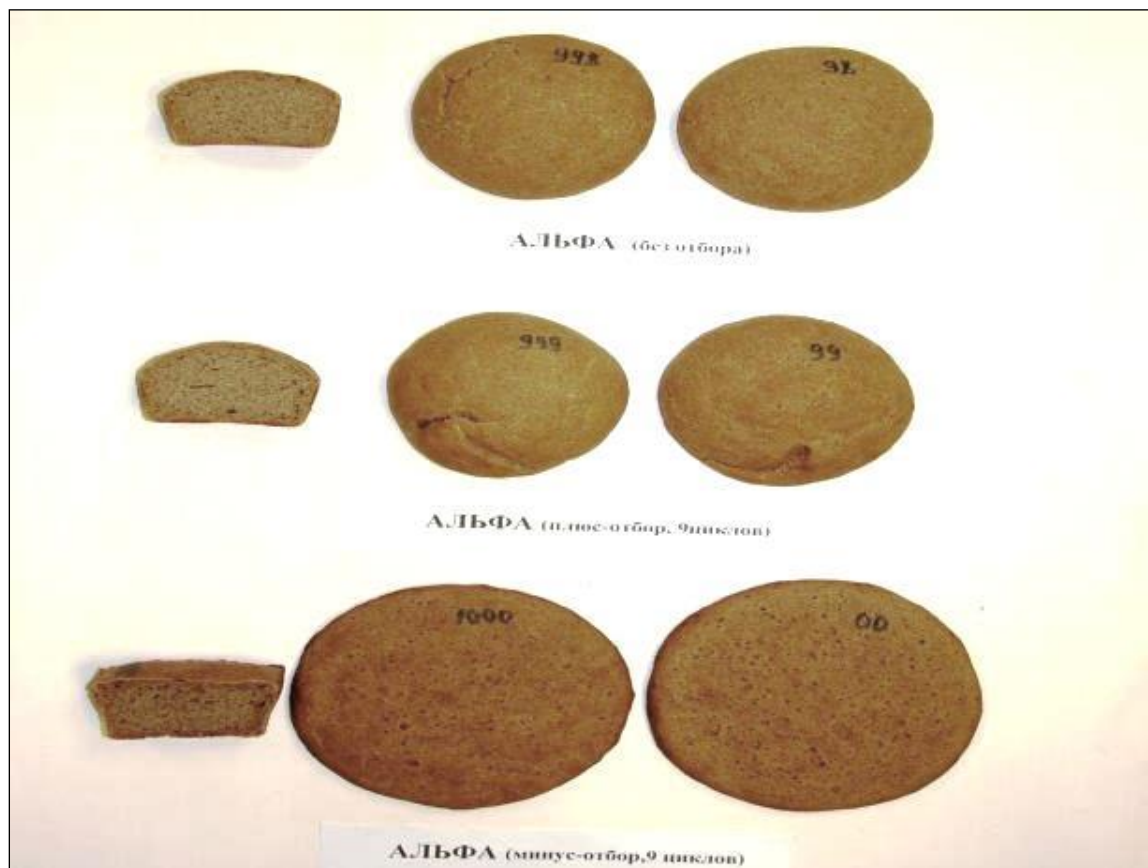
Дивергентный отбор по ВВЭ коррелятивно изменил многие признаки качества зерна. Практически по всем показателям качества популяции с высокой вязкостью были лучше, чем низковязкие (табл. 2).

Таблица 2

**Оценка технологических и хлебопекарных свойств зерна дивергентных популяций из сортов Альфа и Московская 12, 2014 г.**

Признак	Альфа НВ	Альфа ВВ	Московская 12 НВ	Московская 12 ВВ
Вязкость водного экстракта, сП	2,4	17,4	4,5	55,5
Натура зерна, г/л	738	773	740	777
Масса 1000 зерен, г	31,4	36,0	32,2	37,0
Число падения, с	170	260	160	250
Высота амилограммы, е.а.	50	320	84	470
Температура клейстер, °С	63,0	66,3	63,8	65,5
Подовый хлеб, отношение Н/D	0,15	0,41	0,18	0,40
Объем формового хлеба, см <sup>3</sup>	314	286	298	280
Подовый хлеб, балл	3,5	5,0	4,3	5,0
Формовой хлеб, балл	4,4	5,0	3,8	4,4
Содержание белка, %	14,6	14,2	14,4	13,7
Содержание крахмала, %	55,6	55,8	56,1	56,7

В среднем по обоим сортам они отличались от низковязких более высокой натурой зерна (на 4,9 %) и относительно крупным зерном (на 14,8 %), имели более высокое число падения (на 90 с), высоту амилограммы (на 328 е.а.) и температуру клейстеризации крахмала (на 2,5 °С). Значительные различия обнаружены и по хлебопекарным качествам (рис. 3). Сдвиг популяций в сторону высокой вязкости положительно повлиял на формоустойчивость подового хлеба (показатель Н/D увеличился в 2,5 раза), а также на качество формового хлеба, который у этой группы популяций отличался упругим, эластичным и мелкопористым мякишем. Хлеб из низковязких популяций, наоборот, отличался слабой формоустойчивостью, влажным, липким и заминающимся мякишем с крупными порами, но был большего объема, особенно у сорта Альфа. Объясняется это тем, что из-за низкого содержания водорастворимых пентозанов крахмал у этих популяций не способен связывать всю влагу теста и поэтому образует много липких декстринов.



**Рис. 3.** Подовый хлеб из зерна популяций сорта Альфа после девяти циклов дивергентного отбора по ВВЭ, 2014 г.

**Выводы.** Внутрипопуляционный отбор контрастных по вязкости генотипов в силу коррелятивных реакций обусловил сильную дивергенцию популяций по признакам качества зерна. В этом плане многократный дивергентный отбор по ВВЭ можно рекомендовать как эффективный метод селекции ржи на целевое использование. Данные показывают, что при селекции ржи на улучшение хлебопекарных качеств зерна прямой отбор на высокую ВВЭ является более предпочтительным, чем отбор на высокое число падения, так как селекция высоковязких популяций позволяет добиться одновременного улучшения популяции по целому комплексу признаков, определяющих хлебопекарные качества зерна. Главными из них являются: крупное зерно, высокая натура зерна, число падения, высота амилограммы, температура клейстеризации. Отбор низковязких генотипов привлекателен тем, что позволяет целенаправленно изменять биохимическую структуру некрахмальных полисахаридов, снижая содержание трудногидролизуемых пентозанов, что положительно улучшает кормовую ценность зерна. Низковязкие популяции (на уровне 3,0-4,5 сП) являются непригодными для хлебопечения, однако в плане улучшения кормовой пригодности зерна ржи они представляют несомненный интерес.

#### Список использованной литературы

1. Богданов, Г. А. Кормление сельскохозяйственных животных [Текст] / Г. А. Богданов // М.: Агропромиздат. – 1990. – 624 с.
2. Karlsson, R. Pentosans in rye [Text] / R. Karlsson // Sveriges Utsadesforenings Tidskrift. – 1988. – V. 98. – P. 213–225.
3. Rakowska, M. The nutritive quality of rye [Text] / M. Rakowska // Votr. Pflanzenzucht. – 1996. – V. 35. – P. 85–95.
4. Weipert, D. Pentosans as selection traits in rye breeding [Text] / D. Weipert // Votr. Pflanzenzucht. – 1996. – V. 35. – P. 109–119.



5. Boros, D. Influence of water extract viscosity and exogenous enzymes on nutritive value of rye hybrids in broiler diets [Text] / D. Boros, M. R. Bedford // J. Animal and Food Sciences. – 1999. – № 8. – P. 579–587.
6. Madej L. Variability of the content of soluble non32ingestible polysaccharides in rye inbred lines [Text] / L. Madej, K. Raczynska-Bojanowska, K. Rybka // Plant Breed. – 1990. – V. 104 (4). – P. 334–339.
7. Гончаренко, А. А. Перспективы улучшения кормовой ценности зерна ржи методами селекции [Текст] / А. А. Гончаренко // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 11. – С. 7–10.
8. Saastomoinen, M. Pentosan and  $\beta$ -glucan content of Finnish winter rye varieties as compared with rye of six other countries [Text] / M. Saastomoinen, S. Plaami, J. Kumpulainen // J. of Cereal Science. – 1989. – V. 10 (3). – P. 199–207.
9. Bengtsson, S. Isolation and chemical characterization of water-soluble arabinoxylans in rye grain [Text] / S. Bengtsson, P. Aman // Carbohydrate Polymers. – 1990. – V. 12 (3). – P. 267–277.
10. Boros, D. Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye [Text] / D. Boros, R. R. Marquardt, B. A. Slominski, W. Guenter // Cereal Chem. – 1993. – V. 70 (5). – P. 575–580.
11. Rybka, K. Viscosity of rye grain components [Text] / K. Rybka D. Boros, K. Raczynska-Bojanowska, M. Rakowska, R. Sawicka-Zukowska, B. Jedrychowska // Molecular Nutrition and Food Research. – 1988. – V. 32(8). – P. 723–804.
12. Madej, L. Breeding approach to the improvement of feeding quality of rye grain [Text] / L. Madej // Hod. Rosl., Aklimat. i Nasienn. – 1994. – V. 38 (5). – P. 91–94.
13. Cyran, M. R. Genetic variation in the extract viscosity of rye (*Secale cereale* L.) bread made from endosperm and wholemeal flour: impact of high-molecular-weight arabinoxylan, starch and protein [Text] / M. R. Cyran, A. Ceglinska // J. Sci. Food Agric. – 2011. – 21(3). – P. 469–479.
14. Campbell, G. L. Genotypic and environmental differences in rye fed to broiler chicks with dietary pentosanase supplementation [Text] / G. L. Campbell, D. A. Teitge, H. L. Classen // Can. J. Anim. Sci. – 1991. – V. 71. – P. 1241–1247.
15. McLeod, J. G. Extract viscosity and feeding quality of rye [Text] / J. G. McLeod, Y. Gan, G. J. Scoles, G. L. Campbell // Vortr. Pflanzenzucht. – 1996. – V. 35. – P. 97–108.
16. Kucerova, J. Effects of Lokation and Year on Technological Quality and Pentosan Content in Rye [Text] / J. Kucerova // Czech J. Food Science. – 2009. – V. 27. – P. 418–424.
17. Kolasinska, I. Quantitative characteristic of rye inbred lines [Text] / I. Kolasinska, D. Boros, L. Madej, A. Cygankiewich // Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting, Juli 4–7, 2001. – Radzikow, Poland. – P. 315–318.
18. Jurgens, H.-U. Characterization of Several Rye Cultivars with Respect to Arabinoxylans and Extract Viscosity [Text] / H.-U. Jurgens, G. Jansen, C. B. Wegener // J. of Agricultural Science. – 2012. – V. 4 (5). – P. 1–12.
19. Тимошенко, А. С. Адаптация роторного вискозиметра VT5L/R к определению относительной вязкости водного экстракта зернового шрота озимой ржи [Текст] / А. С. Тимошенко, А. А. Гончаренко, Е. Н. Лазарева // Сельскохозяйственная биология. – 2008. – № 5. – С. 110–115.

### References

1. Bogdanov, GA. Domestic animal feeding. Moscow: Agropromizdat; 1990. 624 p.
2. Karlsson R. Pentosans in rye. Sveriges Utsadesforenings Tidskrift. 1988; 98: 213–225.
3. Rakowska M. The nutritive quality of rye. Vortr. Pflanzenzucht. 1996; 35: 85–95.
4. Weipert D. Pentosans as selection traits in rye breeding. Vortr. Pflanzenzucht. 1996; 35: 109–119.
5. Boros D, Bedford MR. Influence of water extract viscosity and exogenous enzymes on nutritive value of rye hybrids in broiler diets. J. Animal and Food Sciences. 1999; 8: 579–587.
6. Madej L, Raczynska-Bojanowska K, Rybka K. Variability of the content of soluble non32ingestible polysaccharides in rye inbred lines. Plant Breed. 1990; 104(4): 334–339.



7. Goncharenko AA. Prospects of improvement of the nutritional value of rye grain by breeding methods. *Dostizhenya nauki I tekhniki APK*. 2012; 11: 7–10.
8. Saastomoinen M, Plaami S, Kumpulainen J. Pentosan and  $\beta$ -glucan content of Finnish winter rye varieties as compared with rye of six other countries. *J. of Cereal Science*. 1989; 10(3): 199–207.
9. Bengtsson S, Aman P. Isolation and chemical characterization of water-soluble arabinoxylans in rye grain. *Carbohydrate Polymers*. 1990; 12(3) ; 267–277.
10. Boros D, Marquardt RR, Slominski BA, Guenter W. Extract viscosity as an Indirect Assay for water-soluble Pentosan Content in Rye. *Cereal Chem*. 1993; 70(5): 575–580.
11. Rybka K, Boros D, Rachynska-Bojanowska K, Rakowska M, Sawicka-Zukowska R, Jedrychowska B. Viscosity of rye grain components. *Molecular Nutrition and Food Research*. 1988; 32(8): 723–804.
12. Madej L. Breeding approach to the improvement of feeding quality of rye grain. *Hod. Rosl., Aklimat. i Nasienn*. 1994; 38 (5): 91–94.
13. Cyran MR, Ceglinska A. Genetic variation in the extract viscosity of rye (*Secale cereale* L.) bread made from endosperm and wholemeal flour: impact of high-molecular-weight arabinoxylan, starch and protein. *J. Sci. Food Agric*. 2011; 21(3): 469–479.
14. Campbell GL, Teitge DA, Classen HL. Genotypic and environmental differences in rye fed to broiler chicks with dietary pentosanase supplementation. *Can. J. Anim. Sci*. 1991; 71: 1241–1247.
15. McLeod JG, Gan Y, Scoles GJ, Campbell GL. Extract viscosity and feeding quality of rye. *Vortr. Pflanzenzucht*. 1996; 35: 97–108.
16. Kucerova J. Effects of lokation and year on technological quality and pentosan content in rye. *Czech J. Food Science*. 2009; 27: 418–424.
17. Kolasinska I, Boros D, Madej L, Cygankiewich A. Quantitative characteristic of rye inbred lines. *Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting*; 2001 Juli 4–7; Radzikow, Poland. P. 315–318.
18. Jurgens H-U, Jansen G, Wegener CB. Characterization of several rye cultivars with respect to arabinoxylans and extract viscosity. *J. of Agricultural Science*. 2012; 4(5): 1–12.
19. Timoshchenko AS, Goncharenko AA, Lazareva EN. Adaptation of a rotary viscometer VT5L / R to determine the relative viscosity of aqueous extract of winter rye grain meal. *Selskokhoziaystvennaya biologiya*. 2008; 5: 110–115.

### **НОВІ ПІДХОДИ В СЕЛЕКЦІЇ ЖИТА ОЗИМОГО НА ЯКІСТЬ ЗЕРНА**

Гончаренко А. О., Єрмаков С. О., Макаров А. В., Семенова Т. В., Точилін В. Н., Крахмальова О. А., Осипова А. В., Лазарева Є. Н., Яшина Н. А.

Московський науково-дослідний інститут сільського господарства «Немчиновка», Росія.

**Вступ.** Зерно жита озимого традиційно використовується для виробництва хліба, спирту, крохмалю, солоду, але дуже мало для годування тварин. З цієї причини щорічно значна частина одержаного урожаю жита залишається незатребуваною, що не стимулює зростання її виробництва.

Це обумовлено тим, що жито порівняно з іншими зерновими культурами містить відносно багато не крохмальних полісахаридів (пентозанів) які є небажаними в кормовому відношенні, оскільки порушують процес травлення у тварин, знижують перетравлюваність поживних речовин корму і негативно впливають на їх продуктивність.

Загальний вміст пентозанів в зерні жита на міжсорттовому рівні має слабе варіювання (9,2–11,5 %), проте на їх експресію істотно впливають екологічні чинники. Основним структурним компонентом некрохмальних полісахаридів є п'ятивуглецеві цукри – арабіноза і ксилоза (у т. ч. арабіноксилани – АК), здатні утворювати високов'язкі водні розчини при відносно низькій концентрації.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є оцінка ефективності 9-кратного дивергентного добору за ознакою ВВЕ, дослідження сортової специфіки в реакції на добір, вивчення

ступеню асиметричності селекційного зрушення і визначення його корелятивного впливу на технологічні та хлібопекарські якості зерна.

**Матеріал і методика.** Вихідним матеріалом для добору за ВВЕ були сорти популяцій жита озимого Альфа і Московська 12.

**Обговорення результатів.** Встановлено, що потенціал в'язкості водного екстракту знаходиться в прямій залежності від вмісту водорозчинних АК в зерні жита ( $r=0,97$ ), в зв'язку з чим він може бути непрямим індикатором їх кількісного вмісту. Виявилося, що в'язкість водного екстракту негативно ( $r=-0,82$ ) корелює з перетравністю білка у щурів, а додавання до раціону ферментів ксиланазі і арабінозідази, які сприяють деполімеризації АК, усуває шкідливий ефект житнього компоненту корму, причому ефект від добавки ферментів тим більше, чим менше міститься зерна жита в раціоні.

Отже, для поліпшення кормової цінності зерна жита необхідно вести цілеспрямовану селекцію на низький зміст АК з тим, щоб забезпечити низьку в'язкість житнього корму в шлунку тварин. Вважається, що такі сорти жита успішно конкуруватимуть з тритікале. Деякі дослідники вважають, що молекулярна структура водорозчинних АК виконує важливішу роль, ніж їх кількісний зміст.

Після дев'яти циклів добору дивергентні популяції з сорту Альфа за ознакою ВВЕ розрізнялися між собою в 7,2 рази, а популяції з сорту Московська 12 – в 12,3 рази. Причиною такої неоднозначної сортової реакції на добір могли бути початкові відмінності за рівнем фенотипової дисперсії ознак, що селектуються у вихідних сортів.

**Висновки.** Внутрішньопопуляційний добір контрастних за показниками в'язкості генотипів через корелятивні реакції зумовив сильну дивергенцію популяцій за ознаками якості зерна. У цьому плані багатократний дивергентний добір за ВВЕ можна рекомендувати як ефективний метод селекції жита озимого на цільове використання.

*Ключові слова: жито озиме, дивергентний добір, в'язкість водного екстракту, хлібопекарська якість*

#### **NEW APPROACHES IN WINTER RYE BREEDING FOR GRAIN QUALITY**

Goncharenko A. A., Yermakov S. A., Makarov A. V., Semenova T. V., Tochilin V. N.,  
Krakhmaleva O. A., Osipova A. V., Lazareva E. N., Yashina N. A.  
Moscow Research Institute of agriculture «Nemchinovka», Russia

**Introduction.** Winter rye grain is traditionally used for the production of bread, alcohol, starch, malt, but very seldom for fodder. For this reason, every year a significant part of harvested rye remains unclaimed, it does not stimulate the growth of its production.

This is due to the fact that, in comparison with other cereals, rye contains relatively high contents of non-starch polysaccharides (pentosans), which are undesirable in fodder. The total pentosans in rye grain vary slightly across varieties (9.2-11.5%), but their expression is significantly affected by environmental factors. The major structural component of non-starch polysaccharides is five-carbon sugars - arabinose and xylose (so-called arabinoxylans – AX), which are capable of producing highly viscous aqueous solutions at relatively low concentrations.

**The aim and tasks of the study.** The purpose of this work - to evaluate the effectiveness of 9-time divergent selection based on the trait of 'aqueous extract viscosity' (AEV), to explore varietal specificity in response to selection, to study the degree of breeding shift asymmetry and to determine its correlative impact on technological and baking qualities of grain.

**Materials and methods.** The starting material for AEV selection was winter rye varieties - populations 'Alfa' and 'Moskovskaya 12'.

**Results and discussion.** The potential of aqueous extract viscosity is directly dependent on water-soluble AX content in rye grain ( $r = 0.97$ ), in connection with which it can serve as an indirect index of their amount. It was found that aqueous extract viscosity is in negative ( $r = -0.82$ ) correlation with protein digestibility in rats, and xylanase and arabinosidase as supplements to

the diet, promoting AX depolymerization, eliminate the harmful effect of rye ingredient in fodder, and the less rye grain the diet contains, the greater the effect of enzymes is.

Therefore, to improve the nutritional value of rye grain, targeted breeding for low AX content is necessary in order to provide low viscosity rye fodder in animals' stomachs. It is believed that such rye varieties will compete with triticale. Some researchers believe that molecular structures of water-soluble AX play a more important role than their amounts.

After 9 selection cycles, the AEV in divergent populations from variety 'Alfa' differed by 7.2 times, and in populations from variety 'Moskovskaya 12' – by 12.3 times. The cause for such an ambivalent response of varieties to selection could lie in background differences in levels of phenotypic dispersion of the trait selected in the original varieties.

**Conclusions.** Intrapopulation selection of genotypes contrasting in viscosity led to a strong divergence of populations in terms grain quality traits due to correlative reactions. In this regard, multiple divergent selections based on AEV can be recommended as an efficient method of rye breeding for targeted use.

*Key words: winter rye, divergent selection, aqueous extract viscosity, baking qualities*

УДК: 633.11; 631.527

### ***ИНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА СТІЙКОСТІ СЕЛЕКЦІЙНИХ ЛІНІЙ ТА СОРТІВ ПШЕНИЦІ ЯРОЇ НА ВПЛИВ КОМПЛЕКСУ БІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ***

Голік О. В., Звягінцева А. М., Бабушкіна Т. В.  
Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, Україна

У статті наведено результати інтегральної оцінки стійкості семи сортів та 22 селекційних ліній пшениці ярої до комплексу біотичних чинників (твердої сажки, борошністої роси, внутрішньостеблових шкідників) в умовах східної частини Лісостепу України за 2013–2015 рр. Виділено зразки з індивідуальною стійкістю і специфічною реакцією на окремі градації біотичного середовища та зразки з найвищим рівнем генетичного захисту від комплексу шкідливих організмів. Виділено селекційну лінію пшениці твердої 07-746 та сорт пшениці полби звичайної Голіковська, які поєднували високий індекс комплексної стійкості з високою стабільністю за індивідуальною стійкістю до окремих шкідливих організмів.

*Ключові слова: пшениця яра, селекційна лінія, сорт, біотична пластичність, стійкість*

**Вступ.** Оцінка стійкості до збудників хвороб та шкідників має вирішальне значення в селекційній практиці. Проте проблеми комплексної стійкості та характер прояву реакції селекційного матеріалу на динаміку зміни біотичного середовища досить часто залишаються поза увагою [1]. У зв'язку з цим нами було розглянуто можливість через оцінку стійкості до певного комплексу шкідливих організмів вийти на диференціальну оцінку селекційної цінності відносно здатності рослин пшениці ярої до генетичного захисту.

**Аналіз літературних джерел.** Сорти, що мають стійкість до декількох шкідливих організмів, є основою низькозатратних екологічно безпечних технологій. Сорт з комплексною стійкістю може дати приріст урожаю в 1,0–1,5 т/га без застосування засобів захисту [2]. Тому важливою задачею у розвитку теорії імунітету є об'єктивна оцінка можливостей і шляхів створення сортів з груповою та комплексною стійкістю. При цьому слід зазначити,