

Селекция на продуктивность, качество, целевое использование

УДК 633.14:631.52

ВЯЗКОСТЬ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИЗНАК ПРИ СЕЛЕКЦИИ НА ЦЕЛЕВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

А.А. ГОНЧАРЕНКО, А.С. ТИМОЩЕНКО, Н.С. БЕРКУТОВА, Е.Н. ЛАЗАРЕВА

Провели сравнительное изучение сортов-популяций, полусибсовых потомств и инбредных линий озимой ржи по вязкости водного экстракта зерна. Проанализировали зависимость этого признака от погодных условий сезона вегетации и его связь с другими признаками качества зерна. Оценили значение вязкости как показателя хлебопекарных качеств зерна ржи, а также долю генотипической дисперсии признака в общей фенотипической дисперсии.

Ключевые слова: озимая рожь, вязкость водного экстракта, пентозаны.

Особенность требований нынешнего рынка к селекции ржи — технологическая, потребительская и пищевая адресность создаваемых сортов, которая сегодня должна вытеснять прежний сортовой универсализм (1, 2).

Известно, например, что высокое содержание водорастворимых некрахмалистых полисахаридов (пентозанов) в оболочках клеток эндосперма ржи осложняет использование зерна на корм животным: набухая в процессе переваривания, пентозаны образуют много слизи, затрудняя пищеварение и ассимиляцию питательных веществ (3, 4). Проблема может быть решена добавлением в рацион гидролитических ферментов (пентозаназы, ксиланазы и др.) с целью усиления гидролиза этих полисахаридов или улучшением питательной ценности зерна при создании сортов с низким количеством водорастворимых пентозанов. Низкопентозановые сорта с высокой амилазной активностью нужны также для промышленного производства крахмала, спирта, сахара, пектинов и др. Однако они непригодны для хлебопечения, где требуется зерно с высоким содержанием пентозанов, низкой активностью амилазных ферментов, дающее муку с высоким показателем водопоглощения. Следовательно, создание разнообразных по цели использования сортов составляет приоритетное направление селекции культуры (5).

Для прогнозирования содержания водорастворимых пентозанов чаще всего используют не прямые, а косвенные методы оценки, основанные на измерении вязкости водного экстракта ржаной муки высокоточными вискозиметрами: поскольку крахмал и белок при невысоких температурах не влияют на вязкость водного экстракта, она практически полностью ($r = 0,97$) зависит от содержания водорастворимых арабиноксиланов (6). Обнаружение этой зависимости открыло возможность широкого скрининга селекционного материала по содержанию пентозанов. Изучено проявление этого признака в зависимости от погодных условий и места выращивания, установлена взаимосвязь с другими показателями качества зерна, определен размах варьирования под влиянием среды и генотипической изменчивости, а также рассчитан коэффициент наследуемости (H^2), что позволило оценить перспективы целенаправленной селекции озимой ржи (7, 9).

Нашей задачей было изучение фенотипической изменчивости признака вязкости водного экстракта зерна озимой ржи на межсортовом, внутрисортовом и межлинейном уровне, а также анализ возможности использовать этот параметр в качестве критерия оценки при селекции озимой ржи на целевое использование.

Методика. Исходным материалом служили 27 сортов-популяций, 200 полусибсовых потомств, а также 270-440 инбредных линий озимой ржи S₇-S₁₁, проходивших полевые испытания в НИИ сельского хозяйства центральных районов Нечерноземной зоны в 2002-2005 годах. Погодные условия в эти сезоны вегетации значительно различались, что позволило определить некоторые закономерности динамики проявления признака в зависимости от генотипических факторов, а также влияния внешней среды.

Вязкость водного экстракта определяли по авторской методике (10). Использовали вискозиметр VT5L (фирма «Нааке», Германия) с набором специальных роторов (TL5, TL6, TL7) и адаптер для малого объема. Пробу зерна каждого образца (5 г) размалывали на лабораторной мельнице ЭМ-3А в течение 1,5 мин и определяли влажность шрота. Шрот (2-3 г) суспензировали в дистиллированной воде (80 мг сухой массы на 1 мл воды, или 1:12,5 по массе). Соотношение подобрано экспериментально в соответствии с оптимальным диапазоном вязкости, позволяющим выявлять четкие различия между сравниваемыми образцами. Пентозаны экстрагировали в водно-мучной суспензии при постоянном перемешивании (60 мин, 30 °С), после чего суспензию центрифугировали (8000 об/мин, 10 мин). Надосадочную жидкость помещали в измерительную камеру вискотестера VT5L; величину вязкости измеряли в сантипуазах (сП) при температуре водяной бани 25 °С. Хлебопекарные качества зерна оценивали методом пробной лабораторной выпечки подового и формового хлеба (9). Содержание сырого протеина и крахмала в зерне определяли на инфракрасном спектрофотометре ИК-6250 (Россия), число падения — на приборе Хагберга-Пертена, содержание водорастворимых пентозанов (глюкоза, арабиноза, ксилоза) — методом ионообменной хроматографии на жидкостном хроматографе Hitachi 835 (Япония) в Ca⁺⁺ цикле с использованием рефрактометрического детектора RIDK-101 (Чехия).

Результаты. Оценка сортов ржи по признакам качества зерна в разные по погодным условиям годы значительно варьировала в зависимости от генотипа и влияния факторов среды (табл. 1). Наибольшей была межсортовая изменчивость по числу падения (C_v составлял 8,7-34,8 %), высоте амилограммы (14,6-32,2 %) и вязкости водного экстракта (9,9-28,5 %), наименьшей — по натуре зерна, содержанию крахмала и температуре его клейстеризации. По воздействию на показатели качества зерна ржи погодные условия заметно превосходили генотип сорта. Это в наибольшей степени проявилось в

1. Оценка межсортового варьирования показателей качества зерна у озимой ржи по годам испытания ($n = 27$; 2002-2005 годы)

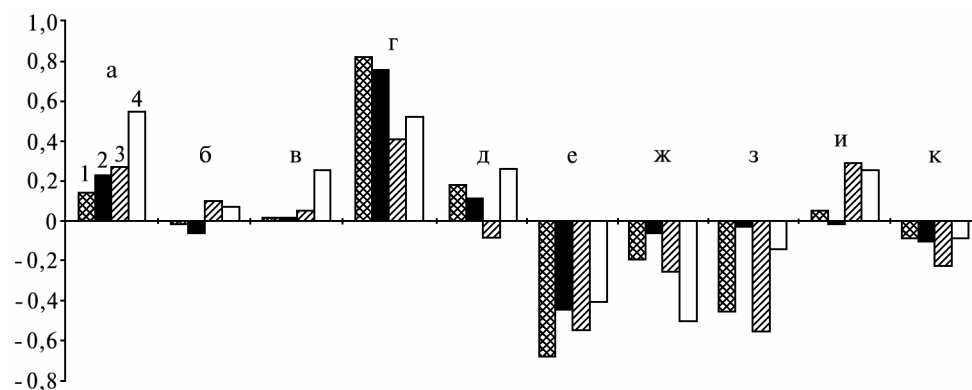
Показатель	X_{cp}				$C_v, \%$			
	2002	2003	2004	2005	2002	2003	2004	2005
Распываемость подового хлеба, h/d	0,23	0,18	0,15	0,22	9,3	11,8	11,1	12,2
Качество мякиша, балл	4,3	3,5	3,8	4,1	9,4	9,5	14,3	7,9
Объемный выход, см ³	262	261	274	313	4,6	6,0	6,8	6,8
Вязкость экстракта, сП	3,97	3,08	3,10	5,20	9,9	19,0	28,5	11,7
Амилограмма, ЕА	498	126	165	244	15,5	32,2	14,6	16,7
Температура клейстеризации, °С	80,1	55,9	61,5	67,7	5,4	2,6	3,3	5,0
Число падения, с	178	105	127	235	8,7	20,1	34,8	12,8
Содержание, %:								
протеин	11,2	12,9	12,5	12,0	6,5	5,4	5,6	3,7
крахмал	61,1	60,1	59,0	58,6	2,5	1,7	6,7	1,5
Натура, г/л	757	676	670	713	1,3	2,7	2,6	1,5
Масса 1000 зерен, г	27,8	34,1	27,6	31,5	5,0	5,7	7,4	5,8

отношении высоты пика амилограммы, числа падения и вязкости водного экстракта (соответственно в 4,0; 2,2 и 1,7 раза); в засушливые годы отмечали максимум экспрессии этих признаков, во влажные — минимум.

Проявление признаков также сильно зависело от взаимодействия генотип—среда. Положительно выделившиеся сорта в разные годы совпадали только по трем из изученных признаков — распываемости подового хлеба (h/d), высоте амилограммы и вязкости водного экстракта; по остальным выделялись разные сорта, что, вероятно, обусловлено неодинаковой нормой реакции на контрастные погодные условия в период налива и созревания зерна.

Следует отметить, что информативность одних и тех же технологических признаков для оценки качества подового хлеба была неодинаковой для зерна, выращенного в разных погодных условиях. Кроме того, связь между показателями качества не была стабильной. Лишь во влажный 2004 год при раннем полегании растений и в засушливый 2005 год формоустойчивость подового хлеба достоверно коррелировала с содержанием в зерне соответственно протеина и крахмала.

Вязкость водного экстракта наиболее устойчиво коррелировала только с тремя из десяти технологических показателей качества зерна: положительно — с распываемостью (h/d) подового хлеба ($r = 0,41...0,82$) и высотой амилограммы ($r = 0,23...0,55$), отрицательно — с объемом формового хлеба ($r = -0,41...-0,68$) (рис.). Неустойчиво, но однозначно отрицательно вязкость экстракта коррелировала с массой 1000 зерен, натурой зерна и содержанием крахмала. Это позволяет характеризовать сорта крупнозерные и высококонатурные как низковязкие, а относительно мелкозерные и с низкой натурой — как высоковязкие. Не было выявлено устойчивой и достоверной связи между показателем числа падения и вязкостью водного экстракта, следовательно, на нее не влияет амилазная активность, а также содержание крахмала и других компонентов, клейстеризующихся только при высокой температуре. Подобная корреляционная инертность объясняется тем, что вязкость экстракта определяется свойством петозанов образовывать вязкие водные растворы; но это их свойство не влияет на другие технологические параметры качества зерна ржи.



Корреляция (r) между вязкостью водного экстракта и другими показателями качества зерна у сортов озимой ржи в разные по погодным условиям сезоны вегетации ($n = 27$): 1, 2, 3 и 4 — соответственно 2002, 2003, 2004 и 2005 годы; а, б, в, г, д, е, ж, з, и, к — соответственно амилограмма, число падения, температура клейстеризации, подовый хлеб, качество мякиша, объем хлеба, масса 1000 зерен, натура зерна, содержание белка, содержание крахмала.

На объемный выход формового хлеба положительно и стабильно по годам влияли натура зерна и масса 1000 зерен. Известно, что крупность и плотность зерна в основном определяют объемный выход хлеба, но при высокой вязкости водного экстракта он снижается. Вероятно, за счет сильной вододерживающей способности больших количеств пентозанов увеличиваются объем и формоустойчивость теста, но после выпечки и испарения влаги хлеб оседает, что согласуется с данными литературы (11). Влияние содержания протеина на объемный выход хлеба было сходным ($r = -0,11...-0,65$). В наших опытах не обнаружено достоверного влияния вязкости водного экстракта на свойства хлебного мякиша. Известно, что его плотность, пористость и эластичность определяются присутствием частично клейстеризованного крахмала (12). Мы также выявили зависимость качества мякиша от высоты амилограммы, числа падения и температуры клейстеризации. В годы с большим количеством осадков и при сильном полегании растений доля влияния этих признаков на качество мякиша резко возрастала.

2. Оценка внутрисортовой изменчивости показателей качества зерна у озимой ржи (2004 год)

Показатель	$\bar{X}_{\text{ср.}}$	X_{min}	X_{max}	$C_v, \%$
С о р т А л ь ф а ($n = 100$ семей)				
Вязкость экстракта, сП	5,61±0,19	3,20	17,00	33,3
Число падения, с	274±11	73	300	42,0
Сырой протеин, %	14,1±0,16	10,0	18,5	11,0
Крахмал, %	56,1±0,26	49,0	62,1	4,6
П о п у л я ц и я 1 2 / 9 2 ($n = 100$ семей)				
Вязкость экстракта, сП	6,51±0,38	3,15	19,7	41,6
Число падения, с	337±10	108	300	28,4
Сырой протеин, %	12,8±0,18	8,2	17,2	13,8
Крахмал, %	59,7±0,20	55,7	64,3	3,4

Оценка степени внутрисортовой изменчивости водозэкстрагируемой вязкости в сравнении с другими признаками качества зерна показала, что у полусибсов она была значительно выше межсортовой (C_v 33,3–41,6 %) (табл. 2). То же справедливо в отношении содержания протеина и крахмала: у изучаемых потомств пределы варьирования по признаку вязкости оказались 6-кратными (3,15–19,7 сП), что указывает на большие возможности отбора альтернативных генотипов в популяции. Однако у обоих сортов наблюдалась четкая левосторонняя асимметричность вариационных рядов; сходные отклонения от нормального распределения отмечали ранее (8). Следовательно, при внутрисортовом отборе низковязкие потомства выделить сложнее, чем высоковязкие.

3. Степень варьирования показателей качества зерна у инбредных линий озимой ржи по годам наблюдения

Показатель	$X_{\text{ср.}}$	X_{min}	X_{max}	$C_v, \%$
2 0 0 3 г о д ($n = 430$)				
Вязкость экстракта, сП	2,8	2,2	11,2	48,4
Число падения, с	151	62	284	36,1
Сырой протеин, %	16,4	12,2	22,5	11,4
Крахмал, %	53,0	42,0	62,4	6,7
2 0 0 4 г о д ($n = 440$)				
Вязкость экстракта, сП	3,8	2,1	15,6	41,8
Число падения, с	234	63	330	27,5
Сырой протеин, %	17,0	12,9	21,4	10,6
Крахмал, %	49,9	40,9	57,8	6,9
2 0 0 5 г о д ($n = 270$)				
Вязкость экстракта, сП	4,0	2,2	7,4	27,6
Число падения, с	158	62	325	38,7
Сырой протеин, %	15,2	10,8	19,6	11,7
Крахмал, %	55,9	48,6	61,1	4,6

На межлинейном уровне за годы наблюдения значение C_v по вязкости водного экстракта было заметно выше, чем по числу падения, которое относят к признакам с высокой степенью изменчивости (табл. 3). Несмотря на большую выборку, левосторонняя асимметричность вариационных рядов по признаку вязкости, обнаруженная у сортов, сохранялась у инбредных линий (среднее значение вариационного ряда x стабильно превышало моду M_o и медиану M_e), что отражает их качественную неоднородность вследствие разного генетического происхождения, а также специфичность нормы реакции линии на условия произрастания. Так же, как у сортов, у инбредных линий корреляционный анализ не выявил достоверной связи между вязкостью водного экстракта и тремя признаками качества — числом падения, содержанием протеина и содержанием крахмала: в течение трех лет (2003, 2004 и 2005 годы) корреляционная связь была низкой и варьировала в пределах соответственно $r = 0,13...0,16$; $r = -0,15...-0,25$ и $r = 0,06...0,24$.

Для прогнозирования эффективности отбора по вязкости водного экстракта зерна мы рассчитали коэффициент наследуемости признака на основании результатов дисперсионного анализа 10 инбредных линий (для 20 растений каждой). Было установлено, что в общей фенотипической дисперсии признака доля генотипической дисперсии (H^2) составила 0,54 при высокой достоверности ($F_{\phi} = 17,43 > P_{05} = 8,12$), следовательно, возможно его селекционное изменение. На инбредных линиях с контрастной вязкостью водного экстракта зерна (по 20 в каждой группе) не выявили корреляции

этого признака с высотой растения и показателями продуктивности колоса (табл. 4), иными словами, задача создания высокоурожайных межлинейных гибридов целевого назначения существенно упрощается. Эти данные также свидетельствуют, что с использованием отобранных линий можно получать гибриды F₁ с показателями вязкости водного экстракта зерна, которые примерно в 2 раза ниже или выше, чем у стандартного популяционного сорта Валдай (минимум и максимум соответственно 2,26 и 9,60 сП при стандарте 4,83 сП). Первые представляют интерес для использования на кормовые и технические цели, вторые — для хлебопечения. Характерно, что инбредные линии ржи с минимальным значением вязкости приближаются к озимой тритикале (1,6 сП). Учитывая высокую вариацию, характеризующую изменчивость признака в зависимости от условий среды, отбор следует проводить по результатам многолетней оценки генотипов в контрастных условиях произрастания.

4. Сравнительная оценка инбредных линий озимой ржи с разной вязкостью водного экстракта зерна по другим показателям качества на фоне стандартного сорта Валдай (2004 год)

Группа линий, сорт	Вязкость, сП	Число падения, с	Содержание протеина, %	Масса 1000 зерен, г	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Высота растения, см
С низкой вязкостью (n = 20)	2,26±0,06	133±11	17,2±0,4	24,3±0,1	31,8±1,3	0,80±0,05	92,5±2,6
С высокой вязкостью (n = 20)	9,60±0,54	163±11	15,5±0,3	25,2±0,1	34,1±1,4	0,90±0,09	91,6±2,6
Сорт Валдай (стандарт)	4,83±0,28	130±8	12,5±0,2	39,0±0,1	45,5±1,2	1,80±0,10	107±1,2

Таким образом, показано, что у озимой ржи вязкость водного экстракта зерна является важным показателем при селекции на качество (хлебопечение, кормовые и технические цели), особенно в засушливые годы, когда информативность оценки по другим признакам снижается. Высокая доля генотипической дисперсии признака указывает на перспективность его использования в селекции. Учитывая высокую средовую вариацию этого признака, мы полагаем, что эффективный отбор по нему необходимо проводить по результатам многолетней оценки генотипов в контрастных условиях произрастания.

ЛИТЕРАТУРА

- Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. М., 2004.
- Гончаренко А.А. Новые направления в селекции озимой ржи на качество зерна. Вест. РАСХН, 2000, 5: 37-40.
- Bedford M.R., Classen H.L., Campbell G.L. The effect of pelleting, salt and pentosanase on the viscosity of intestinal contents and the performance of broilers feed rye. Poultry Sci., 1991, 70: 1571-1577.
- Marquardt R.R., Boros D., Guenter W. e.a. The nutritive value of barley, rye, wheat and corn for young chicks as affected by use of a *Trichoderma reesei* enzyme preparation. Anim. Feed. Sci. Technol., 1994.
- Boros D., Madej L., Jagodzinski J. Perspectives of selection for better nutritive quality of rye. II. Plant Breed. Seed. Sci., 1997, 41: 81-89.
- Boros D., Marquardt R.R., Slominsky B.A. e.a. Extract viscosity as an indirect assay for water-soluble pentosan content in rye. Cereal Chem., 1993, 7, 5: 575-580.
- Boros D., Madej L. The nutritional approach in rye hybrid breeding. Vortr. Pflanzenzucht, 1996, 35: 140-141.
- McLeod J.G., Gan Y., Scoles G.J. e.a. Extract viscosity and feeding quality of rye. Vortr. Pflanzenzucht, 1996, 35: 97-108.
- Kolasinska I., Boros D., Madej L. e.a. Quantitative characteristics of rye inbred lines. Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting, Juli 4-7, 2001, Radzikow, Poland: 315-318.
- Тимошенко А.С., Гончаренко А.А. Определение динамической вязкости водного экстракта зернового шрота озимой ржи с помощью капиллярно-проточного вискозиметра. Методические рекомендации. М., 2005.
- Sygan M., Sygankiewicz A. Content and composition of non-starch polysaccharides of rye flour in relation to its baking quality. Proceeding of the EUCARPIA Rye Meeting, Juli 4-7, 2001, Radzikow, Poland, 291-297.
- Drews E., Seibel W. Bread baking and other uses around the World. In: Rye: Production, Chemistry and Technology /Ed. W. Bushuk. 1976: 127-174.

ГНУ НИИ сельского хозяйства центральных районов
Нечерноземной зоны,
143026 Московская обл., Одинцовский р-н, п/о Немчиновка,
e-mail: goncharenko05@mail.ru;

ГНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной
биотехнологии РАСХН,
127550 г. Москва, ул. Тимирязевская, 42,
e-mail: timoshchenko@iab.ru

Поступила в редакцию
10 января 2006 года

VISCOSITY OF GRAIN WATER EXTRACT IN WINTER RYE AS UNIVERSAL PARAMETER DURING BREEDING ON PRINCIPAL USE

A.A. Goncharenko, A.S. Timoshchenko, N.S. Berkutova, E.N. Lazareva

Summary

The results of comparative studying of populations, half-sibs progenies and inbred lines of winter rye on viscosity of a water extract are presented. The dependence of this attribute on weather conditions of year is analyzed; its correlation with other traits of quality of grain is studied. It was shown, that extract viscosity is the important parameter of baking qualities of rye grain, especially in droughty years, when diagnostic value of falling number, amylogram peak and gelatinization temperatures are reduced. It was established, that the share of genotypic dispersion in general phenotypic one of an attribute of viscosity has made $H^2 = 0,54$. The selection at a level of inbred lines of rye allows revealing the low viscosity genotypes close to a level of winter triticale.