

УДК 633.171(476)

Е. М. ЧИРКО

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ И АДАПТИВНОСТИ
СОРТОВ ПРОСА (*PANICUM MILIACEUM*)
В УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РЕСПУБЛИКИ**

Брестская областная сельскохозяйственная опытная станция НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 03.03.2009)

Введение. В современных условиях одним из основных критериев производственной ценности новых сортов сельскохозяйственных культур является их адаптивность. Работа селекционных центров, исходя из данных требований, ориентируется прежде всего на создание форм, характеризующихся стабильностью основных признаков урожайности и качества. Для сельскохозяйственного производства важно подбирать сорта, стабильные по урожайности и пригодные для возделывания в конкретном почвенно-климатическом регионе. В благоприятных условиях предпочтительнее выглядят сорта с высокой потенциальной продуктивностью, тогда как в неблагоприятных и экстремальных последняя должна сочетаться с достаточно высокой экологической устойчивостью. В данном отношении просо не является исключением, поэтому в современных условиях селекционная работа с просом должна быть направлена на удовлетворение требований народного хозяйства, а также способствовать как расширению ареала возделывания культуры, так и сферы ее использования. Новые сорта наряду с высокой продуктивностью и технологичностью должны обладать приспособленностью к определенному уровню земледелия, а также устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды [1]. Сегодня речь идет не просто о создании форм проса, которые по урожайности в конкурсном сортоиспытании будут значительно превышать стандарт, а сорта-агротипы, отличающиеся наибольшей приспособленностью к местным условиям [2].

Известно, что тот или иной уровень урожайности формируется в процессе взаимодействия генотипа с условиями среды, характер которых в большинстве регионов не позволяет реализовать потенциальные возможности районированного сортифта в связи с низким адаптивным потенциалом последнего. Отсюда следует, что даже при оптимальных условиях выращивания потенциальная продуктивность новых сортов реализуется всего лишь на 50–60%. Урожайность сорта является результатом сложного взаимодействия генотип – среда, где средой являются не только почвенно-климатические условия, но и технологические приемы возделывания. Поэтому при селекционной работе важно не только создать сорт, но и выявить наиболее благоприятную зону для его выращивания, иными словами найти экологическую нишу [3]. Зачастую данные понятия игнорируют, что приводит к ошибкам как при районировании сорта, так и при определении форм, перспективных для селекционной работы. По мнению Э. Д. Неттевича [4], создаваемые сорта обычно соответствуют тем условиям, в которых они создавались, так как биологические свойства всегда сопряжены с условиями отбора. В то же время известно немало случаев, когда сорта выходят далеко за пределы ареала, для которого они выводились. Ярким примером сорта, сочетающего в себе адаптивность при высоком уровне пластичности и степени стабильности, может быть сорт проса Быстрое, который имеет значительный ареал распространения на территории России и Украины. С 1998 г. сорт районирован в Республике Беларусь, является стандартом в Государственном сортоиспытании, имеет высокий удельный вес посевных площадей в производстве.

В настоящее время сельскохозяйственному производству предложены сорта проса и отечественной селекции, пригодные как для производства пшена, так и зеленой массы. Общепринятым критерием характеристики сорта является уровень его урожайности в различных по времени и месту условиях среды. Однако сегодня очевидно, что этого недостаточно для однозначной оценки и требуются дополнительные статистические показатели и характеристики.

Цель исследования – оценка зерновой продуктивности и адаптивного потенциала сортов проса селекции Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию по статистическим параметрам, рассчитанным по признаку «урожайность зерна».

Объекты и методы исследования. Исследования по экологическому сортоиспытанию проводили на опытном поле Брестской областной сельскохозяйственной опытной станции НАН Беларуси в 2006–2008 гг.

Почва опытного участка дерново-подзолистая супесчаная, подстилаемая с глубины 0,5–0,7 м мореным суглинком. Агрохимическая характеристика пахотного горизонта: pH_{KCl} 5,8, содержание P_2O и K_2O (по Кирсанову в модификации ЦИНАО) – 222 и 258 мг/кг почвы соответственно, гумуса (по Тюрину) – 2,1%. Предшественник – озимая пшеница. Минеральные удобрения вносили из расчета $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$. Закладку опыта производили в четырехкратной повторности, размещение делянок – в два яруса систематическое. Учетная площадь делянки – 18 м².

Учитываемый признак – урожай зерна. Урожайные данные подвержены статистической обработке дисперсионным методом [5]. Пластичность изучаемых сортов (b_i) и стабильность (S_d^2) оценивали по методике Эберхарта и Рассела в изложении В. А. Зыкина [6], индекс стабильности (ИС), показатель уровня и стабильности сорта (ПУСС), показатель реализации потенциала урожайности – по Э. Д. Неттевичу [4, 7], размах урожайности (d) – по В. А. Зыкину [8], среднее квадратичное отклонение (σ) и коэффициент вариации (V) рассчитаны по Б. А. Доспехову [5], гомеостатичность (Hom) и селекционная ценность (Sc) – по В. В. Хангильдину [9]. Год с максимальным проявлением изучаемого признака и с самым высоким уровнем индекса среды (I) принят за оптимальный (opt), с минимальным проявлением и с наименьшим значением индекса среды – лимитированный (lim). При расчете показателей ИС и ПУСС в качестве стандарта принят сорт проса Быстрое.

Метеорологические условия в годы исследований носили разнообразный характер: от близких к средним многолетним значениям до засушливых и достаточно увлажненных. Это позволило дать более объективную оценку изучаемым сортам исходя из сложившихся внешних условий среды, обусловленных прежде всего гидротермическим режимом. Индекс условий среды (I) по годам изменялся от минус 10,2 до плюс 10,0. Положительное значение индекса условий формирует благодаря более полной реализации потенциальных возможностей генотипов в данных условиях, и наоборот, очень высокие отрицательные индексы являются следствием низкого адаптационного потенциала изучаемых сортов.

Наиболее благоприятным для проса был 2007 г. ($I = 10,0$). Несмотря на засушливые условия в начальный период вегетации, обильные осадки I декады июля, пришедшие на фазу выметывания проса, способствовали формированию достаточно высокого урожая зерна. В 2006 г. длительный засушливый период, совпавший у проса с фазами стеблевания и выметывания, оказал негативное влияние на продуктивность культуры, значительно снизив как длину метелки, так и ее озерненность. Для 2006 г. определено высокое отрицательное значение индекса условий среды ($I = -10,2$). В 2008 г. на протяжении всего июня, I и II декад июля большинство дней погода была пасмурной с температурой воздуха на 0,2–0,8 °C ниже среднемноголетних показателей. Данное обстоятельство отрицательно повлияло на рост и развитие растений, привело к задержке выметывания, негативно отразилось на ходе продукционного процесса у проса в целом. Начало фазы цветения проходило также на фоне недостаточной солнечной инсоляции, что снизило озерненность метелки. Индекс условий 2008 г. при положительном значении имел невысокий уровень ($I = 0,1$).

Результаты и их обсуждение. В ходе проведения в 2001–2003 г. на Брестской ОСХОС НАН Беларуси комплексных исследований по оптимизации основных агротехнических приемов возделывания проса на зерно в условиях юго-западной части Беларуси была выявлена высокая степень зависимости урожайности зерна проса от влагообеспеченности конкретного вегетационно-

го периода [10]. Необходимость создания и внедрения в производство сортов проса, характеризующихся экологической пластичностью, выражающуюся прежде всего в меньшей зависимости от внешних факторов среды, находит свое подтверждение и в результатах экологического испытания 2006–2008 гг.

Для установления доли вкладов генотипа (сорта), внешних условий (год) и взаимодействия между ними в фенотипическую изменчивость популяции, выражаемую в показателе «урожайность зерна», использовали двухфакторный дисперсионный анализ (табл. 1), который позволил выявить высокие достоверные различия между сортами, условиями вегетационного периода и эффектом их взаимодействия.

Т а б л и ц а 1. Значимость и вклад факторов в формирование урожайности зерна проса по данным двухфакторного дисперсионного анализа

Источник варьирования	Степень свободы	Средний квадрат	F_{ϕ}	$F_{0,05}$	Вклад фактора, %
Общее	59	–	–	–	–
Повторения	3	–	–	–	–
Год (A)	2	2038,5	239,8	3,23	72,0
Сорт (B)	4	80,5	9,5	2,61	6,0
Взаимодействие ($A \times B$)	8	109,9	12,9	2,18	16,0
Остаток	42	8,5	–	–	6,0

Анализ доли вклада отдельных факторов показал, что влияние в почвенно-климатических условиях региона на урожайность оказывает фактор A (год). Как видно из табл. 1, средние квадраты фактора A значительно превосходят средние квадраты фактора B . Это свидетельствует о преобладающей доле средовых эффектов по годам испытания и о значимости их влияния на фенотипическую изменчивость урожая. Роль сорта как отдельного фактора в формировании урожайности культуры невелика и составляет 6%. В то же время взаимодействие факторов A и B , находящееся на уровне 16%, свидетельствует о том, что резерв дальнейшего повышения урожайности и ее стабилизации возможно за счет использования высокопродуктивных адаптивных сортов.

Согласно методике, предложенной Л. А. Животковым с соавт. [11], для анализа продуктивного и адаптивного потенциала сортов по варьированию их урожайности использовали понятие «среднесортная урожайность». В данном случае сопоставление урожайности изучаемых сортов ведется не со стандартом, а со средней урожайностью по всем сравниваемым сортам. [Ее величина выражает общую норму реакции определенной совокупности сортов на факторы внешней среды в каждом конкретном году.] Реакцию же отдельного сорта на сложившиеся конкретные условия вегетационного периода можно определить при соотношении его урожайности со среднесортной. При этом цифровое значение данного показателя может выражаться в процентах (долевое участие) либо как относительная величина (коэффициент адаптивности). По величине показателя можно судить об адаптивности или продуктивности сорта. В неблагоприятных условиях потенциальная продуктивность реализуется слабо, а адаптивность, наоборот, более ярко.

Сравнение полученных данных показало, что ежегодно складывающиеся внешние факторы среды могут как нивелировать сортовые различия, так и приводить к их дифференциации (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Урожайность сортов проса в экологическом сортоиспытании, ц/га

Сорт	Урожайность, ц/га			Коэффициент адаптивности		
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Быстрое	29,7	47,8	36,6	1,16	1,04	1,02
Дружба	27,6	35,4	34,5	1,07	0,77	0,96
Галинка	26,4	46,8	34,8	1,03	1,02	0,97
Днепровское	20,9	57,5	36,3	0,81	1,25	1,01
БеЛИР	24,0	42,1	38,0	0,93	0,92	1,06
Среднесортная урожайность	25,7	45,9	36,0	–	–	–
$НСР_{0,05}$	2,2	5,9	3,4			

Так, в 2007 г., наиболее благоприятном для проса, урожайность зерна у сорта Днепровское составила 57,5 ц/га, что на 25% выше среднесортной. Выше среднесортной сформировали урожайность сорта Быстрое и Галинка. Уровень продуктивности сорта БЕЛИР был также довольно высок и составил 92% среднесортной урожайности. В этих же условиях у сорта Дружба коэффициент адаптивности имел наименьшее значение – 0,77 (сорт проявил слабую реакцию на благоприятность внешних условий, выразившуюся незначительным ростом зерновой продуктивности).

В 2006 г. картина выглядела иначе. На фоне недостаточного увлажнения средняя зерновая продуктивность по опыту составила 25,7 ц/га. При этом экстремальность погодных условий позволила выявить степень адаптивности изучаемых сортов. У таких сортов, как Быстрое, Дружба и Галинка, коэффициент адаптивности составил величину больше единицы, что свидетельствует о невысокой степени выраженности их реакции на неблагоприятные условия. Сорт Днепровское в 2006 г. сформировал урожайность на 4,8 ц/га меньше среднесортной, а по сравнению с 2007 г. его продуктивность была ниже более чем в два раза. Очевидно, что его потенциальные возможности высоки, однако для их реализации необходимы достаточно благоприятные погодные условия вегетационного периода. Урожайность сорта БЕЛИР в условиях года составила 24,0 ц/га, коэффициент адаптивности – 0,93.

В 2008 г. у всех изучаемых сортов отклонения фактической урожайности от среднесортной были незначительными. В разрезе сортов также не установлено достоверных различий по зерновой продуктивности, а коэффициент адаптивности за все годы изучения имел наименьшую вариабельность.

Для расширенной характеристики адаптивных свойств изучаемых сортов нами был рассчитан ряд статистических показателей, применяемых для оценки и сравнения генотипов (табл. 3). При этом показатели можно разделить на три категории: определяющие пластичность – σ , V , b_i ; стабильность – S_d^2 , ИС; гомеостатичность – ПУСС, Hom , Sc .

Таблица 3. Адаптивные свойства сортов проса, среднее за 2006–2008 гг.

Показатель	Быстрое	Галинка	Днепровское	Дружба	БЕЛИР
Средняя урожайность (\bar{x}), ц/га	38,0	36,0	38,2	32,5	34,7
Предел урожайности ($lim-opt$), ц/га	29,7–47,8	26,4–46,8	20,9–57,5	26,4–35,4	24,0–42,1
Размах урожайности (d)	38,0	44,0	64,0	22,0	43,0
Среднее квадратичное отклонение (σ)	9,14	10,30	18,40	1,16	9,50
Реализация потенциала урожайности, %	79,0	77,0	66,0	92,0	82,0
Коэффициент вариации (V), %	24,0	28,0	48,0	4,0	27,0
Пластичность (b_i)	0,88	0,99	1,79	0,33	0,88
Стабильность (S_d^2)	3,7	13,3	210,0	9,9	15,1
Индекс стабильности (ИС)	1,58	1,29	0,80	8,13	1,29
ПУСС	100,0	122,3	80,8	699,2	117,4
Гомеостатичность сорта (Hom)	8,73	6,17	2,17	116,7	7,0
Селекционная ценность сорта (Sc)	23,56	20,16	13,75	25,35	19,78

Анализ лимитов урожайности показывает, что у сортов отечественной селекции он ниже, чем у сорта Быстрое. По потенциалу урожайности сорт Днепровское превосходит другие сорта, однако при этом урожайность имеет наивысшую степень вариабельности по годам ($V = 48$) и ее размах достигал наибольшего значения. По данным показателей остальные сорта проса можно расположить в следующем порядке (по возрастанию): Дружба, Быстрое, БЕЛИР, Галинка, при этом они характеризуются также довольно высокой реализацией потенциала урожайности. Реализация потенциала урожайности у сорта Днепровское составила 66%, в то время как, по мнению Э. Д. Неттевича, оптимум использования сорта превышает 70% [4].

Как следует из модели расчета Эберхарта–Рассела, наиболее ценны те сорта, у которых $b_i > 1$, а дисперсия (S_d^2) стремится к нулю. Такие сорта относятся к высокоинтенсивным. Они отзывчивы на улучшение условий и характеризуются стабильной урожайностью. Сорта с высокими показателями b_i и S_d^2 менее ценны, так как их высокая отзывчивость сочетается с низкой стабиль-

ностью урожая. Те генотипы, у которых $b_i < 1$ и близкий к нулю показатель S_d^2 , слабо реагируют на улучшение внешних условий (их чаще всего именуют полуинтенсивные), но в то же время для них характерна достаточно высокая стабильность урожайности.

Судя по величине коэффициента регрессии, наиболее отзывчивым на улучшение условий среды оказался сорт Днепроvское. Однако высокая степень положительной реакции генотипа на благоприятные условия не сочетается с показателем стабильности, поскольку по данному критерию сорт занимает последнюю позицию. У сортов Быстрое, Галинка и БелЛПР величина $b_i < 1$. Эти генотипы показали более высокую адаптацию к средним (умеренным) и худшим условиям среды и характеризуются сравнительно высоким уровнем стабильности урожайности. При этом наибольшей стабильностью характеризовался сорт Быстрое. У сорта Дружба улучшение условий выращивания не сопровождалось ростом зерновой продуктивности, что подтверждается коэффициентом регрессии, величина которого стремится к нулю. Данный генотип на протяжении трехлетнего испытания показал невысокую степень вариабельности урожайности и показатель S_d^2 имел довольно невысокое значение.

Показатель ПУСС является комплексным, поскольку позволяет одновременно учитывать уровень и стабильность урожайности. В анализируемых нами сортах показатель уровня и стабильности урожайности сорта колебался от 80,8 у сорта Днепроvское до 699,2 у сорта Дружба. Это еще раз подтверждает их оценку с хозяйственной и биологической позиций, полученную исходя из предыдущих статистических показателей.

Оценка каждого из изучаемых сортов в условиях полевого опыта объективна для конкретных условий выращивания. Изменение уровней отдельных факторов в лимитирующую либо в оптимальную сторону неизбежно приведет к смене рангов сортов. Это является следствием неодинаковой потенциальной продуктивности и нормы реакции генотипа на условия внешней среды. Как считает В. В. Хангильдин [8], оценка сортов с помощью регрессионной модели Эберхарта и Рассела не дает полной и объективной характеристики сравниваемым генотипам, поскольку участвуют три параметра: коэффициент регрессии, среднее квадратичное отклонение и средняя урожайность сорта. Использование же показателя «общая гомеостатичность сорта» (*Hom*) позволяет оценивать генотипы сортов по одному показателю. По мнению автора, лимитирующим фактором урожайности является не потенциальная продуктивность, а именно устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды, т. е. гомеостатичность, и при недостаточном увлажнении именно низкий гомеостаз ведет к снижению биологической продуктивности растений. При этом, если пластичность сорта отражает изменчивость признака и свойств (в данном случае уровень зерновой продуктивности) в соответствии с изменением внешних условий произрастания, то гомеостаз ограничивает эту изменчивость в той мере, в какой это необходимо для поддержания постоянства функций организма. В наших исследованиях сорт Дружба характеризовался как высокогомеостатичный, обладающий генетическим механизмом, способным сводить к минимуму последствия неблагоприятных воздействий внешней среды. Сорта Галинка, БелЛПР и Быстрое имели средний уровень показателя (*Hom*), а Днепроvское – низкий. По показателю «селекционная ценность» (*Sc*) изучаемые сорта расположились в следующем порядке (по убыванию): Дружба, Быстрое, Галинка, БелЛПР, Днепроvское.

Таким образом, по комплексу проанализированных показателей изучаемые сорта проса можно подразделить следующим образом: Днепроvское – высокопластичный сорт, зерновая продуктивность которого находится в существенной зависимости от экологических условий произрастания в регионе; Галинка и БелЛПР – сорта со средним уровнем стабильности и гомеостатичности формирования урожая; Дружба – с низким уровнем пластичности при высокой стабильности и гомеостатичности; Быстрое – сочетание высокой урожайности со столь же высокой пластичностью и стабильностью.

Заключение. Для объективной и полной характеристики сортов при экологическом сортоиспытании, а также при оценке селекционного материала необходимо использовать сочетание различных статистических моделей и показателей, а адаптивность сорта следует рассматривать с позиции пластичности, стабильности и гомеостатичности.

Наиболее адаптивными сортами для возделывания проса на зерно в юго-западной части Беларуси являются сорта Быстрое и Галинка, поскольку они способны давать относительно высокую, но при этом стабильную урожайность не только в благоприятных, но и в контрастных условиях.

Сорт проса Дружба, находившийся в свое время в Госсортоиспытании и снятый с районирования как низкопродуктивный, представляет селекционную ценность и может использоваться при создании гомеостатичных форм, при этом селекция должна быть направлена на повышение не только верхнего порога урожайности, но и нижнего.

Литература

1. Яшовский, И. В. Селекция и семеноводство проса / И. В. Яшовский. – М.: Агропромиздат, 1987. – С. 165–171.
2. Малкандуев, Х. А. Модели сортов и приемы технологий возделывания проса / Х. А. Малкандуев // Научные основы создания модели агроэкотипов сортов и зональных технологий возделывания зернобобовых и крупяных культур для различных регионов России: науч. тр. ВНИИЗБК. – Орел, 1997. – С. 219–222.
3. Кильчевский, А. В. Генетико-экологические основы селекции растений / А. В. Кильчевский // Вестник ВОГиС. – 2005. – Т. 9, № 4. – С. 518–526.
4. Неттевич, Э. Д. Влияние условий возделывания и продолжительности изучения на результаты оценки сорта по урожайности / Э. Д. Неттевич // Вестник РАСХН. – 2001. – № 3. – С. 34–38.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. Зыкин, В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: метод. рекомендации / В. А. Зыкин, В. В. Мешков, В. А. Сапега. – Новосибирск: ВАСХНИЛ, СО, 1984. – 24 с.
7. Неттевич, Э. Д. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качество зерна / Э. Д. Неттевич, А. И. Моргунов, М. И. Максименко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1985. – № 1. – С. 66–73.
8. Зыкин, В. А. Селекция яровой пшеницы на адаптивность: результаты и перспективы / В. А. Зыкин, И. А. Белан, В. М. Россеев // Доклады РАСХН. – 2000. – № 2. – С. 5–7.
9. Хангильдин, В. В. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы / В. В. Хангильдин, И. Ф. Шаяхметов, А. Г. Мардамшин // Генетический анализ количественных признаков растений: сб. ст. – Уфа, 1979. – С. 5–39.
10. Чирко, Е. М. Оптимизация основных агроприемов возделывания проса на зерно в юго-западном регионе Беларуси: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09. / Е. М. Чирко; НПЦ НАН Беларуси по земледелию. – Жодино, 2006. – 20 с.
11. Животков, Л. А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» / Л. А. Животков, З. А. Морозова, Л. И. Секутаева // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.

Е. М. CHIRKO

COMPARATIVE ESTIMATION OF THE GRAIN EFFICIENCY AND ADAPTIBILITY OF BREEDS OF MILLET (*PANICUM MILIACEUM*) IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH-WEST REGION OF THE REPUBLIC

Summary

In the article the results of a three-year ecological strain testing of breeds of millet in the conditions of the south-west region of the Republic are outlined. The complex estimation of their efficiency and adaptability is made with the use of various statistics and techniques. It is established that the most adaptive breeds for cultivation of millet on grain in the south-west region of Belarus are breeds Bustroe and Galinka. The greatest selection value (on the homeostasis level) is seen in the breed Druzhiba.