

Трансгрессивная селекция озимой пшеницы на качество зерна для степной зоны

М.А. Фоменко, к.с.-х.н., **А.И. Грабовец**, д.с.-х.н., профессор, член-корр. РАСХН, **Н.А. Шевченко**, ст.н.с., **О.В. Мельникова**, мл.н.с., **К.Н. Бирюков**, к.с.-х.н., Донской зональный НИИСХ

Стратегия селекции озимой пшеницы на современном этапе направлена на повышение её урожайности и адаптивного потенциала с сохранением и улучшением качества зерна. В последние годы наблюдается некоторое снижение количества белка и, следовательно, клейковины в товарном зерне новых высокопродуктивных селекционных сортов, что связано как с ухудшением агроэкологических условий, так и с изменением габитуса современных полукарликовых сортов, с возрастанием индекса урожая [7]. Сильное влияние на качество зерна также оказывает взаимодействие генотипа со средой [1, 2]. Путей решения этой проблемы много, однако наиболее гибким инструментом следует считать гибридизацию специально подобранных компонентов. Рекомбинация генов, возникающая при этом, является одним из основных источников изменчивости у высших организмов и, в частности, у озимой пшеницы. Контроль и управление процессами рекомбинации позволяют синтезировать новые генотипы с признаками и свойствами, которых не было у родителей, или с более сильной их выраженностью (трансгрессиями) [3].

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в отделе селекции и семеноводства пшеницы и тритикале Донского НИИСХ в 1985–2014 гг. Ростовская область с площадью

пашни порядка 6 млн га относится к среднеаридным зонам. Гидротермический коэффициент составляет 0,8, коэффициент аридности – 0,4. За последние годы, особенно с 2000 г., усилилась тенденция нарастания засушливости климата.

Методы селекции – внутри- и межвидовая гибридизация в сочетании с многократным индивидуальным отбором в ранних и старших поколениях. Схема ведения селекции в основном общепринятая. Материалом исследований служили сорта и линии мягкой озимой пшеницы, созданные в отделе селекции и семеноводства пшеницы и тритикале Донского НИИСХа. Технологические оценки качества зерна выполняли в соответствии с ГОСТом. Электроофорез глинадина, частоту и степень трансгрессии определяли по общепринятым методикам [4–6].

Результаты исследований. В процессе исследований по проблеме стабилизации содержания количества белка и клейковины в зерне за период 2003–2005 гг. в селекционном питомнике изучили 56780 семей гибридного происхождения из 253 популяций. Родителей по содержанию белка в зерне условно разделили на три группы: высокобелковые (вб, содержание белка в среднем по годам $\geq 15,0\%$), среднебелковые (сб, 14,0–14,9%), низкобелковые (нб, $\leq 13,9\%$). В качестве сортов с высоким содержанием белка были использованы генотипы: Панна, Лэлэка, Тарасовская 87, Тарасовская остистая, Северодонецкая юбилейная, Зерноградка 10, Зарница и др. Среднебелковые формы – сорта Росинка тарасовская, Престиж, Тарасовская 97, Харьковская 107, Херсонская безостая, Красно-

дарская 99, Ермак, Донской сюрприз и др. Источники устойчивости к патогенам (5450-11, 1502 W25-2, F 552 11-72, Румыния, Gredo, TAW, Германия, Venture, Англия и др.) характеризовались низким уровнем содержания белка в зерне.

Гибриды были получены при различных схемах скрещиваний (табл. 1). Параметры трансгрессивной изменчивости по содержанию белка зерна определялись как характером проявления признака у родительских форм, так и особенностями взаимодействия их генотипов со средой.

В результате проведённых исследований было выявлено, что у 60% гибридов, полученных на основе высокобелковых форм, степень превышения родителей была невелика — 1,3–8,2%. Частота появления трансгрессивных форм составляла в среднем 1,28% (табл. 1). При скрещивании среднебелковых форм параметры трансгрессии повышаются: частота достигает 9%, степень 12%.

Высокую селекционную ценность также имели комбинации, полученные при скрещивании высоко- и среднебелковых форм. В среднем степень трансгрессии в данных скрещиваниях составила 1,9%. Степень превышения проявления у гибридов к лучшей родительской форме достигала 8,2–9,2%. При использовании высокобелковой формы уже в качестве отцовской формы выход трансгрессивных форм был несколько ниже — 1,4%, варьируя от 0,3 до 2,5%. Степень трансгрессии у выделенных наиболее высокобелковых форм была ниже, чем в предыдущем случае, — 7,5–8,6%.

Вовлечение низкобелковых форм снижает выражение признака и параметры трансгрессии: частота не выше 1,2%, степень — не выше 2%. Наименьший выход трансгрессивных по содержанию белка генотипов зафиксировали при скрещивании среднебелковых и низкобелковых форм.

В рассматриваемых скрещиваниях был проанализирован характер влияния материнской цитоплазмы на белковость гибридов. В случае использования в скрещиваниях исходных компонентов, приближённых к желаемым параметрам идиотипа сорта, с содержанием белка 14–15% (схемы «вб × вб» и «сб × сб») эффекта материнской цитоплазмы не наблюдали. Когда же различия между генотипами родителей по признаку белковости и

другим признакам становились существенными, то влияние материнской формы было значимым. Например, в реципрокных скрещиваниях сортов Херсонская 86 (12,8%, н/б) ↔ Донщина (14,9%, в/б), когда в качестве материнской формы взят сорт с большим содержанием белка, гибриды, F3–F5 отличались более высоким накоплением белка в зерне (14,8–16,2%) по сравнению с реципрокными гибридами (13,2–15,2%).

На основании выявленных закономерностей был создан ряд сильных и ценных сортов. Сильные по качеству зерна сорта Тарасовская остистая и Северодонецкая юбилейная были отобраны в разных поколениях при скрещивании местной высокобелковой линии 1527/88 [(Тарасовская 29 × Drina, Югославия) × Краснодарская 57] с сортом Альбатрос одесский (14,2–14,8%, сб). Сорт Донстар выделен из комбинации 1472/91 [(Партизанка × Зирка) × Белоцерковская 18 × Зирка] (14,7%, сб) × Донская юбилейная (15,5%, вб).

Сорт Донэко, в Госреестре как сильная по качеству пшеница, создан при скрещивании высокобелкового сорта Тарасовская 87 и линии 568/97 со средним содержанием белка (14,1–15,3%).

О проявлении качества клейковины как количественного признака свидетельствует создание сильных по качеству генотипов при скрещивании сортов с первой и второй группами по качеству клейковины. Проиллюстрируем это на примере динамики качественных характеристик зерна у отобранных константных семей контрольного питомника 2006 г. в сравнении с исходными формами (табл. 2).

При скрещивании линии 1009/03 (Донская безостая/Мироновская ранняя) (28,6%, 72 е.п.) и сорта Новокубанка (25,2%, 82 е.п.) в четвёртом поколении популяции выделили семьи с содержанием клейковины в пределах 24,9–28,5% и с упругостью клейковины первой и второй групп (ИДК 69–85 е.п.) (табл. 2).

Линия 547/06 (Дон 93/Новокубанка) сформировала зерно с содержанием клейковины 28,4%, ИДК 77 е.п. У родителей данные показатели составляли соответственно 28,0%, 70 е.п. и 24,6%, 90 е.п., т.е. наблюдали увеличение количества и качества клейковины.

1. Параметры трансгрессивной изменчивости у гибридов различных схем скрещивания, селекционный питомник, 2003–2005 гг.

Комбинация скрещиваний	Изучено комбинаций	Степень трансгрессии (превышение к родителям, %)	Частота трансгрессии, %	
			распределение частоты выщепления	средняя
вб × вб	51	1,3–8,2	0,5–4,5	1,28
сб × сб	87	11,9–12,2	0,5–9,0	2,52
вб × сб	39	8,2–9,2	0,3–5,5	1,9
сб × вб	51	7,5–8,6	0,3–2,5	1,4
вб × нб	8	1,3–4,0	0,2–2,2	1,0
нб × вб	9	1,3–2,0	0,4–2,2	1,2
сб × нб	8	1,8–4,2	0–1,6	0,5

2. Показатели качества клейковины линий озимой пшеницы в сравнении с исходными формами, 2006 г.

Популяция	Содержание клейковины, % / упругость клейковины, ИДК, е.п.		
	♀	♂	линия
Тарасовская остистая / Зерноградка 9	28,2/82	24,8/80	24,0/84
1009/03 / Новокубанка	28,6/72	25,2/82	28,9/69 28,5/80 27,9/79 29,2/82
Дон 93 / Новокубанка	28,0/70	24,6/90	28,4/77
984 / 98 / 841 / 96	27,2/84	27,6/84	25,9/98 27,0/100 26,2/89
821 / 96 × Ермак	28,6/66	28,8/72	26,5/90 27,0/95

3. Оценка качественных показателей исходных форм и их гибридов, среднее, 2006 г.

Родители, гибрид	Белок		Клейковина		Седиментация	
	содержа- ние, %	наследо- вание	содержа- ние, %	наследо- вание	показа- тель, мл	наследо- вание
тип скрещивания «среднебелковый × среднебелковый»						
Самшит / Есаул	14,1/14,0	СД	28,2/28,3	СД	31,1/42,1	СД
F3	15,9		29,0		57,2	
Родник тарасовский / Батько	14,1/14,8	ПД	26,9/28,5	СД	41,1/50,0	СД
F3	14,8		28,7		56,2	
♀ Тарасовская 97 / ♂ Дока	14,3/14,0	СД	28,4/26,5	СД	46,0/45,8	СД
F3	15,4		29,6		60,5	
тип скрещивания «среднебелковый × низкобелковый»						
Донской сюрприз / 1066 / 02	14,4/12,3	ЧД	28,2/21,0	-Д	47,9/31,5	ЧД
F3	13,4		24,2		43,5	
920 / 04 / 1760 / 05	14,0/13,3	НД	27,3/23,2	НД	38,3/38,0	СД
F3	13,9		26,4		40,6	

Примечание: *ЧД, НД, ПД — частичное, неполное, полное доминирование лучшей родительской формы; СД — сверхдоминирование; -Д — отрицательное доминирование родителя с менее выраженным признаком; Д — депрессия

При скрещивании форм со второй группой между собой трансгрессии были крайне редки, при использовании третьей группы трансгрессии не были выделены. Например, при скрещивании линий 984/98 и 841/96 с содержанием клейковины 27,2 и 27,6% второй группы выделенные семьи популяции характеризовались меньшим количеством клейковины и её качеством (25,9–27,0%, 95–100 е.п.).

Нередки депрессии при наследовании количественных показателей при скрещивании высококачественных сортов. У комбинации 821/96 × Ермак родительские формы формировали высококачественную клейковину (ИДК 66–72 е.п.). У потомства семей F4 упругость клейковины снижалась от крепкой до удовлетворительно слабой (ИДК 90–95 е.п.).

В последние годы для оценки качества клейковины широко используется метод седиментации. В таблице 3 приведены данные показателей качества зерна (содержание белка, клейковины, седиментация) комбинаций, полученных при скрещивании среднебелковых и низкобелковых компонентов.

У популяций Самшит/Есаул, Родник тарасовский/Батько и Тарасовская 97/Батько в F3 были

получены положительные трансгрессии по содержанию клейковины и показателям седиментации.

У гибридов F3 комбинации Донской сюрприз (сб) × 1066/02 (нб) прослеживается доминирование низкобелковой формы. Содержание клейковины было недостаточно высоким (24,2%), как и показатель седиментации (43,5 мл). В комбинации 920/04 (сб) × 1760/05 (нб) на проявление содержания белка, клейковины, седиментации оказывает доминирующее влияние среднебелковая материнская форма, но показатели качества зерна у гибридов также не были высоки.

Результативность исследований по селекции пшеницы на качество особенно возросла в связи с использованием маркеров глиадинокодирующих локусов глиадины [5]. Использование данных клейковинных белков пшеницы открывает возможности целенаправленного конструирования Gli локусов в процессе селекционного улучшения пшеницы по качеству и другим признакам. Также это позволило оптимизировать объёмы прорабатываемого материала в контрольном питомнике. Если в 2002 г. из убранных 184 линий у 63 форм рейтинг электрофореграмм был удовлетворитель-

4. Создание сортов с использованием электрофоретических формул глиаина, среднее, 1998–2012 гг.

Родители (♀, ♂), сорт	Содержание, %		Электрофоретическая формула глиаина		Объём хлеба, см ³	Оценка хлеба, балл
	белка	клейковины	<i>Gli</i> локусов хромосом	оценка		
♀ Тарасовская остистая	14,7	28,6	4.1.4.3.1.2	отлично	860	4,5
♂ Ермак	14,9	25,7	1.7.3.1.1.1.	хорошо ++	840	4,6
Вестница*	15,2	28,9	10.1.4.3.2.2.	отлично	900	4,7
♀ Доминанта	15,9	28,2	1.7.3.2.2.2.	отлично	890	4,6
♂ Ермак	14,9	25,7	1.7.3.1.1.1.	хорошо ++	840	4,6
Боярыня*	15,4	28,9	4.1.4.3.2.2	отлично	900	4,7

Примечание * — сорта изучаются в Госсорткомиссии

ный и слабый, то уже с 2005 г. число низкобелковых форм, которые должны были изучаться в конкурсных испытаниях, с подобными оценками сочетания локусов глиаина было единичным. Определение полиморфизма запасных белков методом электрофореза константных по фенотипу семей селекционного питомника позволяет иметь оценку их потенциальных качественных показателей, что важно при использовании карликовых и полукарликовых форм, также доноров устойчивости к грибным заболеваниям.

Это можно проиллюстрировать особенностями селекционного процесса при создании ряда новых сортов (табл. 4). Электрофореграммы исходных компонентов сорта Боярыня имели рейтинг качества «отлично». При перекомбинировании аллелей хромосомы 1 гомеологической группы, отвечающей за качество, у сорта Боярыня было получено новое сочетание (4.1.4.3.2.2. с рейтингом «отлично»), обусловившее высокие реологические свойства теста и выход хлеба со 100 г муки.

По сорту Вестница с высоким рейтингом электрофореграммы, как и у материнской формы, сочетание локусов глиаина обусловило трансгрессию как по содержанию белка, клейковины, так и по объёму хлеба и его общей оценке.

Следовательно, преобладающее число генотипов, сочетающих высокую продуктивность с содержанием белка на уровне $\geq 14\%$, выделено из комбинаций с наибольшим спектром изменчивости при скрещивании высокобелковых форм со среднебелковыми, а также среднебелковых форм между собой. Вовлечение низкобелковых форм (источники ценных признаков и свойств) снижает значение признака и параметры трансгрессии. Такие формы применяли в дальнейшей работе при

ступенчатой гибридизации или при проведении скрещиваний по типу прерывистого беккрасса.

По качеству клейковины трансгрессии проявляются при скрещивании форм с первой и второй группой по её качеству, второй группы между собой — были крайне редки, при использовании третьей группы трансгрессии не были выделены. Методика подбора пар с использованием маркеров глиаинкодирующих локусов глиаина позволила создать генотипы с содержанием белка $\geq 14\%$ и с высоким выходом хлеба со 100 г муки. Этому сопутствует и отличное качество клейковины, оценка седиментации и реологические свойства теста.

Рассмотренные выше принципы трансгрессивной селекции на качество озимой пшеницы вкупе с направлениями на продуктивность позволили создать высокопродуктивные сорта селекции Донского НИИСХа, адаптированные к лимитирующим стрессорам среды, с качеством сильной и ценной пшеницы, внесённые в Госреестр селекционных достижений РФ по 5, 6, 7 и 8 регионам, а также на Украине.

Литература

1. Павлов А.Н. Состав белка в зависимости от условий в период налива зерна // Зерновые культуры / ВНИИТЭИагропром. М., 1990. Вып. 6. С. 3.
2. Бебякин В.А., Сергеева А.И., Крупнова О.В. и др. Фенотипическая стабильность сортов озимой пшеницы по критериям качества зерна // Агро XXI. 2007. № 4. С. 53–55.
3. Жученко А.А., Король А.Б. Рекомбинация в эволюции и селекции. М.: Наука, 1985. С. 202–203.
4. Копусь М.М. Исследование полиморфизма глиаина методом электрофореза в крахмальном геле: методические рекомендации. Ростов-на-Дону, 1988. 40 с.
5. Воскресенская Г.С., Шпот В.И. Трансгрессия признаков у гибридов *Brassica* и методика количественного учёта этого явления // Доклады ВАСХНИЛ. 1967. № 7. С. 18–20.
6. Гуляев Г.В., Мальченко В.В. Словарь терминов по генетике, селекции и семеноведению. М.: Россельхозиздат, 1983. 240 с.
7. Law C.N. Intraspecific chromosome manipulation // Phil. Trans. Pon. Soc. London. 1982. V. 60. 2. P. 81–84.