

## Итоги селекции озимой мягкой пшеницы на качество зерна в условиях усиления флуктуации климата

*М.А. Фоменко, д.с.-х.н., А.И. Грабовец, член-корр. РАН, д.с.-х.н., профессор, Т.А. Олейникова, мл. н.с., О.В. Мельникова, мл. н.с., ФГБНУ РАНЦ*

В Ростовской области первостепенное значение имеет озимая пшеница, доминирующая по посевным площадям, валовым сборам и значению в экономике региона. Приоритетным направлением стабилизации производства зерна является создание адаптированных к конкретным условиям возделывания сортов озимой мягкой пшеницы, гарантирующих повышение урожайности зерна стабильного качества. Ещё в 1980-е гг. доля силь-

ной пшеницы в урожае зерна составляла 26,5% по РСФСР, а в Северо-Кавказском регионе – 49,2% [1]. В следующие десятилетия по мере развития политико-экономических процессов в стране, наметилась тенденция к снижению количества и качества клейковины в зерне пшеницы. В настоящее время Россия стала одним из успешных мировых экспортеров зерна пшеницы. Однако в отечественном производстве и в зерновом экспорте преобладает пшеница 3-го класса.

Проблема качества зерна пшеницы является интегрирующим показателем взаимодействия генотипа сорта, природно-экологических осо-

бенностей, агротехнических и организационно-экономических условий возделывания. Снижение качества зерна связано с ухудшением естественных условий для формирования зерна высокого качества из-за возрастающих флуктуаций климата [2], с уменьшением площади чистых паров и многолетних трав, насыщением севооборотов злаковыми культурами, с технологическими вопросами выращивания [3]. Изменение архитектоники создаваемых высокоинтенсивных полукарликовых сортов обуславливает возрастание индекса урожая при высоком соотношении зерно: солома, в то же время основная доля азота поступает в зерно путём реутилизации из вегетативных органов [4]. Возрастают проблемы поиска источников и доноров высококачественного зерна, необходимы знания о генетической природе их признаков [5]. Целенаправленный контроль показателей качества на всех этапах селекционного процесса пшеницы позволяет создавать высококачественные генотипы озимой мягкой пшеницы [6, 7].

**Цель исследования** – выявить изменчивость показателей, определяющих качество зерна новых сортов озимой мягкой пшеницы в условиях флуктуации климата для корректировки селекционных программ.

**Материал и методы исследования.** Исследование проводили в научном исследовательском центре ФГБНУ ФРАНЦ в степной зоне Ростовской области в 2014–2017 гг. В качестве объектов исследования использовали собственный селекционный материал, коллекционные образцы ВИР. Опытные образцы ежегодно высеивали по предшественникам чистый пар и нут. Почвы опытного участка – чернозёмы южные карбонатные слабовыщелочные.

Климат зоны проведения исследования засушливый, континентальный. В период проведения исследования количество осадков варьировало от 328 до 529 мм (72–117% к годовой норме). Отклонение от среднесуточной среднегодовой температуры составило +3,9°С (норма 6,9°С). Проблема изменения климата в настоящее время обуславливает нарастание интенсивности развития комплекса болезней вирусного и грибного происхождения, увеличения численности популяций вредителей (клопа вредная черепашка). Данные факторы ухудшают естественные условия для формирования качества зерна в регионе.

Технологическую оценку качества зерна проводили согласно методике госкомиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [8].

**Результаты исследования.** Направлением исследования селекции является создание генотипов, сочетающих высокую урожайность и адаптивность к лимитирующим стрессорам среды с высоким качеством зерна в условиях усиления флуктуации среды.

В новом генетическом материале конкурсных сортоиспытаний были проанализированы

взаимосвязи признаков, формирующих показатели качества зерна, под влиянием метеорологических факторов. Условия вегетации для формирования качества зерна были различные по климатическим проявлениям. Засушливые 2014 и 2015 гг. были оптимальными для формирования высокого качества зерна. Средняя урожайность в питомниках составляла 4,8–7,2 т/га, с содержанием белка в зерне 14,9 (13,7–16,4%) и 15,1 (13,5–17,0%). 2016 и 2017 гг. – оптимальные условия по влагообеспечению. В 2017 г. ливневые осадки со шквалистым ветром в фазу налива зерна вызвали полегание крупноколосых форм. Был сформирован урожай зерна 8–9 т с га. Среднее содержание белка генотипов в данный период составляло 13,1–14,0%. Отбор генотипов на качество зерна как в годы с оптимальными по климатическим условиям, так и с отклонениями от нормы позволяет выделить формы с наследственно высокими параметрами качества зерна.

Общеизвестны данные об отрицательной корреляционной зависимости между содержанием белка и продуктивностью. В нашем исследовании наблюдали варьирование данной зависимости. От слабой и средней отрицательной корреляции ( $r = -0,20$ – $0,41$ ) в засушливых условиях до слабой положительной ( $r = 0,30$ ) в оптимальные годы с урожаем свыше 8 т/га. Подобное варьирование сопряжённости признаков было обусловлено погодноклиматическими условиями и генотипами сортов.

В сложившихся условиях были установлены определённые взаимосвязи между параметрами качества. Содержание в зерне белка тесно сопряжено с количеством клейковины ( $r = 0,6$ – $0,97$ ), исключение ( $-0,1$ ) в 2017 г. Между количеством и упругостью клейковины были выявлены слабые взаимосвязи ( $r = -0,1$ – $0,2$ ). Уровень накопления в зерне белка положительно взаимосвязан с объёмом хлеба ( $r = 0,11$ – $0,2$ ), со стекловидностью ( $r = 0,2$ – $0,3$ ), с силой муки ( $r = 0,2$ – $0,5$ ), с седиментацией ( $r = 0,78$ – $0,82$ ). Значение сопряжённости между массой 1000 зёрен, натурой зерна и содержанием в нём белка колебалось примерно в одинаковых пределах от  $-0,43$  до  $-0,58$ . Эти взаимосвязи были отрицательны. Баланс между накоплением содержания белка и клейковины в зерне составил 1,6–2,0.

Генотипы значительно различались по показателям качества зерна (табл. 1). Установлено, что наиболее стабильным показателем качества зерна для всех сортов является натура зерна. Коэффициент вариации ( $C_v$ ) этого признака варьировал от 0,2 до 4,8%. Доля влияния наследственных факторов преобладала.

Признак содержание белка у сортов варьирует от слабой до средней степени (4,2–13,7%). Данная дифференциация позволила выделить генотипы с наследственно высоким уровнем накопления белка. К ним можно отнести новые сорта Донэра, Октава 15, Акапелла и Былина Дона.

1. Коэффициенты фенотипической вариации показателей качества зерна новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ДЗНИИСХ, 2014–2017 гг.

Сорт	Нагура, г/л		Стекло- видность, %		Седи- мента- ция, мл		Число паде- ния, сек		Соде- ржание белка, %		Соде- ржание клейко- вины, %		Объём альвео- граммы, е.а.		Объём хлеба, мл.	
	ср.	Cv, %	ср.	Cv, %	ср.	Cv, %	ср.	Cv, %	ср.	Cv, %	ср.	Cv, %	ср.	Cv, %	ср.	Cv, %
Дон 107, ст.	801	0,62	81	11,0	48,8	9,7	470	14,8	13,8	6,8	26,3	8,3	229	27	853	4,3
Донстар*	784	1,25	76	8,0	49,2	17,2	409	23,1	13,6	9,2	23,7	14,5	187	33	810	10,5
Донэра*	780	0,5	78	7,3	48,6	15,9	441	11,5	14,3	6,3	26,8	9,6	287	19	870	5,0
Губернатор Дона*	789	1,2	78	9,4	47,4	11,9	431	7,3	14,3	4,2	25,5	7,5	238	17	808	5,6
Прелюдия**	774	0,8	74	11,2	47,4	13,4	467	4,2	14,0	5,7	25,5	7,4	258	29	857	5,7
Славица**	760	0,2	72	7,9	47,9	15,9	446	6,6	14,4	7,4	26,9	12,6	240	12,1	817	8,6
Донмира**	799	1,4	77	8,9	50,9	18,2	391	38,0	14,4	9,5	28,4	7,2	281	16	873	4,5
Октава 15**	773	1,9	81	7,6	52,5	13,6	457	7,5	14,5	6,0	27,1	8,1	273	13,1	845	4,5
Былина Дона**	792	2,6	81	9,2	52,3	19,8	373	15,1	14,7	6,3	27,8	8,3	270	17,1	878	7,8
Акапелла**	779	3,4	80	11,0	47,6	25,4	395	14,1	14,4	13,7	26,3	18,1	254	8,9	825	9,8
Богема**	773	4,8	83	6,4	47,5	15,4	361	5,5	14,3	9,3	27,0	12,6	278	17	825	5,5
1043/14	777	4,8	80	17,2	50,9	16,8	326	5,5	14,2	6,6	27,6	15,2	255	27	860	4,5
Доля влияния фактора, %																
генотип	27,6		10,5		6,4		18,5		8,8		21,8		21,7		24,0	
среда	18,0		45,9		72,7		39,5		65,0		35,2		35,8		12,7	

Примечание: \* – сорта, включенные в Госреестр селекционных достижений РФ; \*\* – сорта, изучающиеся в ГСИ



Рис. – Распределение сортообразцов по объёмам альвеограмм и хлеба в зависимости от повреждения зерна вредителем

Важную роль в хлебопечении играют количество и качество клейковины. Содержание её в зерне широко варьирует (7,2–18,1%). Сорт Донмира имеет минимальную вариантальность по данному признаку при среднем содержании клейковины 28,4%. Сорта Донэра, Октава 15, Былина Дона стабильно удерживают данный показатель в различных условиях.

От незначительной до средней вариантальности выявили по признаку объём хлеба (4,5–10,5%). Объёмный выход хлеба за годы исследования в среднем варьировал от 808 мл (Губернатор Дона) до 878 мл (Былина Дона).

Значительный размах варьирования (Cv) отмечен по признаку сила муки. Содержание клейковины, её качественные показатели положительно сопряжены с объёмом альвеограммы, сила муки также существенно зависит от степени повреждения зерна клопом вредная черепашка (рис.). Подвижки климата в основных земледельческих

регионах вызвали расширение ареала и степени вредоносности сельскохозяйственных вредителей, в частности клопа вредная черепашка (*Eurygaster integriceps*).

Протеолитические ферменты клопа оказывали неоднозначное действие на показатели качества зерна различных генотипов. Существует мнение, согласно которому наличие до 2% зёрен с внешними повреждениями не оказывает значимого влияния на качество зерна. Данные показывают, что у части генотипов при 2% повреждения зерна физические и хлебопекарные свойства снижаются. Так, при повреждении зерна в пределах 2–3% удельная работа деформации теста снижалась до 100–150 е.а.

Наличие исходных форм с достаточно высокими показателями качества не гарантирует выявления новых генотипов, толерантных к фитофагу. Сестринские линии 715/16, 717/16 (Тарасовская 70/Донна) характеризовались высокой стекловидностью (92–98%), с достаточным содержанием белка

2. Влияние фермента клопа на изменчивость качественных показателей зерна различных линий в сравнении с родительскими формами, КСИ, 2015, 2017 гг.

Родительская форма, линия	Повреждение клопом, %	Стекло-видность, %	Содержание в зерне		Седиментация, мл	Объем		Хлеб. оценка, балл
			белка, %	клейковины, %		альвеограммы, е.а.	хлеба, мл	
Лэлэка	4,5	75	13,7	32,8	49,6	112	650	4,1
1259/08, 1512/12, 1514/12	1,7-3,9	70-75	14,1-14,6	24,4-27,1	45,3-51,1	137-240	860-1010	4,5-4,9
Донстар	2,2	70	14	24,2	48,4	240	890	4,7
Донская лира	1,7	80	14,4	27	45,1	215	890	4,5
876/14, 876/14, 881/14, 883/14	1,7-3,0	69-81	14,5-15,4	24,3-28,1	45,9-55,7	179-298	940-960	4,3-4,7
Донна	2	70	15,2	28,2	51,4	321	940	4,7
1335/14, 1336/14	1,5-2,8	70-73	14,3-15,0	24,5-27,8	48,4-53,2	160-208	890-940	4,1-4,7
Adler	2,1	85	14,6	25,7	38,9	175	760	3,9
951/16 Adler / Губернатор Дона	2,7	96	13,9	26,0	44,7	233	840	4,5
Губернатор Дона	0,1	75	13,9	25,5	48,5	400	750	3,9
Тарасовская 70	1,5	84	14,0	26,5	50,0	220	780	4,0
715/16, 717/16	2,3-2,8	92-98	14,3-14,4	25,6-26,6	44,7	175-185	840-900	4,1-4,7

3. Показатели качества соргов озимой мягкой пшеницы на различных предшественниках при прорастании зерна, 2014 г.

Сорт	Предшественник – чёрный пар*				Предшественник – нут*			
	содержание белка, %	содержание клейковины, %	седиментация	число падения, с	содержание белка, %	содержание клейковины, %	седиментация	число падения, с
Дон 107, ст.	13,9	27,8	48	456	13,5	24,1	48,3	62
Губернатор Дона	13,9	26,6	48,5	416	13,7	20,7	40,4	78
Донстар	14,0	24,2	48,4	300	13,5	21,0	37,2	158
Донэра	14,5	26,2	48,9	390	15,1	23,0	47,8	62
Вестница	14,5	28,8	51,1	468	14,4	22,1	46,0	72
Боярыня	14,5	26,2	49,0	453	15,0	26,8	51,9	216
Прелюдия	14,0	25,6	46,4	466	14,4	22,2	41,5	190
Славица	14,6	28,5	49,6	436	14,6	21,2	42,8	108
984/12	15,0	29,3	50,9	280	13,1	20,2	35,6	175
Октава 15	14,8	27,9	54,0	464	12,6	18,7	31,8	200

Примечание: пар \* – сорта убраны в оптимальных условиях, нут – сорта убраны после осадков и понижении среднесуточных t до 22,6°C (при норме 27,9°C), значимые различия по F-критерию: при P<0,05

14,3–14,4%. Однако повреждение зерна свыше 2% обусловило снижение количества клейковины, силы муки и объёмного выхода хлеба (табл. 2).

Среди исследуемого материала выделили генотипы, созданные на основе средне- и высокобелковых родительских форм, со сбалансированным содержанием клейковины и высокой стекловидностью, толерантные к повреждениям зерна вредителем. Линии из комбинаций Донстар / Лелека, Донская лира / Донэра, Донна / Донстар, Adler / Губернатор Дона при повреждении зерна в пределах 1,7–3,9% характеризовались высокими показателями седиментации, объёмом альвеограммы и хлеба (табл. 2). Т.е., возможно, выделить линии с высоким уровнем толерантности к ферменту клопа вредная черепашка и генетически его закрепить.

Результаты исследования показали, что наибольший размах варьирования среди совокупности признаков, отвечающих за качество зерна, выявлен по признаку активности  $\alpha$ -амилазы, определяемой числом падения ( $C_v = 5,5–38,0\%$ ). Это свидетельствует о зависимости проявления данного показателя от условий, в которых формируется зерно.

Проблема устойчивости к предуборочному прорастанию направлена на развитие представлений о покое семян и их устойчивости к прорастанию на корню, совершенствованию методов отбора устойчивых генотипов.

В 2014 г. в фазу полная спелость зерна обилие осадков вызвало понижение среднесуточных температур до 22,6°C (при норме 27,9°C). Это обусловило преждевременное повышение активности  $\alpha$ -амилазы и прорастание зерна на корню. Данные условия способствовали отбору устойчивых генотипов. Число падения, показывающее активность  $\alpha$ -амилазы, у сортов Донэра, Дон 107 (ст.), Вестница до выпадения осадков составляло 390–468 сек., предшественник пар, после – 62–72 сек., нут (табл. 3). Высоким показателем числа падения (190–216 сек.) характеризуются сорта Боярыня, Октава 15, Прелюдия. Их устойчивость явилась итогом отборов на генетическое закрепление низкой активности альфа-амилазы.

В коллекционном питомнике были выделены генотипы, устойчивые к предуборочному прорастанию на корню: Patria (Хорватия), GK Cija (Венгрия), Zhong Pin 1586 (Китай), Рувна, Bunchuk, Чернява (Украина), Stara (Швеция) для использования их в селекционных программах.

**Вывод.** Для решения проблемы стабилизации качества зерна необходимо дальнейшее совершенствование методов селекции с целью создания генотипов, характеризующихся высокими параметрами качеств зерна при неблагоприятных условиях среды, сбалансированных по содержанию и качеству белков и клейковины, толерантных к активности ферментов вредителей, устойчивых к прорастанию на корню, имеющих высокий уровень продуктивности и адаптивности.

Целенаправленная селекционная работа позволила создать новые высокоурожайные сорта озимой мягкой пшеницы с генетически обусловленным высоким качеством зерна. Новые сорта озимой пшеницы Донмира, Октава 15, Былина Дона, Акапелла, Богема имели минимальную вариантальность по стекловидности, содержанию белка в зерне и объёму хлеба.

## Литература

1. Мелешкина Е.П. Современные аспекты качества зерна // Аграрный вестник Юго-Востока. 2009. № 3. С. 4–8.
2. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Совершенствование методологии селекции пшеницы в условиях недостаточного увлажнения // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 2. С. 12–54.
3. Сандухадзе Б.И. Селекция озимой пшеницы – важнейший фактор повышения урожайности и качества // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 11. С. 4–6.
4. Павлов А.Н. О параллелизме модификационной и генотипической изменчивости признаков качества зерна // Сельскохозяйственная биология. 1990. № 1. С. 13–27.
5. Мережка А.Ф. Роль генетических ресурсов в современной селекции растений // Генетические ресурсы культурных растений (Международная научно-практическая конференция 13–16 ноября 2001 г.). СПб.: ВИР, 2001. С. 351–354.
6. Фоменко М.А. Селекция озимой мягкой пшеницы в условиях усиления аридности климата на Дону: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук (06.01.05). Краснодар, 2015. 50 с.
7. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Озимая пшеница: монография. Ростов-на-Дону, ООО «Издательство «Юг», 2007. 543 с.
8. Методика государственного испытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур / Под ред. д.с.-х.н. М.А. Феина. М.: Госагропром, 1988. 120 с.