

**СТЕКЛОВИДНОСТЬ ЗЕРНА ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В СВЯЗИ  
С СЕЛЕКЦИЕЙ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ****П.Н. Мальчиков, М.Г. Мясникова, Т.В. Чахеева**

**Реферат.** Стекловидность зерна важный признак, учитываемый государственными стандартами многих стран при определении его класса по качеству. В процессе создания сортов его контролируют при отборе пресективного материала во всех питомниках. В статье представлены результаты изучения стекловидности зерна сортов Самарского НИИСХ, относящихся к четырем этапам селекции: I этап – 1957–1990 гг., II этап – 2003–2004 гг., III этап – 2007–2008 гг., IV этап – 2012–2018 гг. Исследования проводили на опытном поле Самарского НИИСХ в 2012–2020 гг. Делянки учетной площадью 20,0 м<sup>2</sup> размещали в рендомизированных блоках. Стекловидность определяли по доле стекловидных зерен на срезе эндосперма в пробах очищенного зерна, взятого в 3-х полевых повторениях. Оценку полученных данных проводили на основе 2-х факторного и однофакторного дисперсионного и корреляционного анализа, а также расчета параметров стабильности и отзывчивости по методикам Кильчевского, Хотылевой, Эберхарта-Расслелла, Хангильдина, Неттевича. Дисперсию стекловидности зерна на 61,2% определяли условия среды, на 9,3 % факторы генотипа и на 19,0 % генотип/средовые взаимодействия. Прогресс в селекции относительно первого этапа, наблюдался на 2-м и 4-м и отсутствовал на 3-м этапе. По абсолютным значениям стекловидности (91,8...94,3 %) выделено 4 сорта – Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Безенчукская нива и Безенчукская 210, относящиеся к 4-му этапу. Близкие к этим величины (89,2...89,6 %) отмечены у сортов 2-го этапа – Безенчукской степной и Памяти Чеховича. Успешная селекция по стекловидности зерна твёрдой пшеницы связана с улучшением параметров стабильности формирования признака в разнообразных условиях среды. Достоверные генотипические корреляции стекловидности, урожайности зерна и цвета макарон показывают эффективность одновременной селекции по этим признакам. Отсутствие значимых связей стекловидности зерна с параметрами вегетации и качества предполагает возможность получения необходимых рекомбинаций в процессе селекции. В качестве исходного материала в селекции на стекловидность зерна предложены сорта 4-го этапа Безенчукская золотистая и Безенчукская крепость.

**Ключевые слова:** твёрдая пшеница, сорт, стекловидность зерна, стабильность, продуктивность, качество зерна.

**Введение.** Стекловидность один из основных признаков товарного зерна продовольственного назначения. Его величина лежит в основе рыночной классификации твёрдой пшеницы и служит важной характеристикой качества зерна для мукомольной промышленности. В России зерно твёрдой пшеницы по этому признаку в соответствии с ГОСТ Р 52554-2006, распределяют на пять классов. Для первого и второго регламентированная минимальная доля стекловидных зерен составляет 85 %, для третьего – 70 %, четвертый класс и неклассная пшеница не ограничены. В США самая высокая доля стекловидных зерен (минимум 75 %) определена для первого типа зерна янтарной твердой пшеницы (HADW), для класса янтарной твердой пшеницы (ADW) она ограничена 60 %, к классу твердой пшеницы (DW) относят партии с содержанием стекловидных зерен меньше 60 % [1]. Канадскую западную янтарную пшеницу дуром регламентируют по стекловидности пятью классами, из них для первого, второго и третьего по минимуму стекловидности ограничен 80 %, 60 % и 40 % соответственно. Для четвертого и пятого классов ограничений нет [2]. В Австралии к неклассному относят зерно со стекловидностью меньше 50 % [3]. В Европейском Союзе в партиях высокостекловидного зерна твердой пшеницы должно быть минимум 75 % стекловидных зерен, среднестекловидного – мини-

мум 62 %, остальные относят к низкостекловидным [4]. Стекловидность положительно коррелирует с содержанием белка, клейковины и мукомольными качествами зерна [5]. Крахмальные зерна стекловидного зерна более мелкие с четко выделяющимися гранями, располагаются в белково-липидном матриксе, не образуя непрерывного (сплошного) крахмального слоя, что увеличивает твердость зерна и крупчатую структуру продуктов размола [6]. Стекловидность зерна формируется под влиянием условий среды – температуры воздуха, водного режима, содержания азота в почве [7] и наследственности сорта [8]. Влияние генетических особенностей на формирование этого признака подтверждается постоянным вниманием к нему селекционеров. Так, в условиях Саратова в НИИСХ Юго-Востока признак стекловидности всегда имел значение при отборах на всех этапах селекционного процесса [9]. Сортные особенности формирования стекловидности были обнаружены при изучении коллекции отечественных сортов в Омском АНЦ и Федеральном Ростовском АНЦ [10, 11, 12]. По данным Marina Jonson et al. [8], коэффициент наследуемости стекловидности зерна твёрдой пшеницы  $H^2=0,223$  был невысоким, но такой изменчивости оказалось достаточно для определения 11 QTLs, ответственных за ее формирование. При этом только один из них был связан с признаками помола

(выход крупки и муки), а еще пять – с цветовыми характеристиками зерна и конечных продуктов. Два основных QTLs ( $R > 10\%$ ) для стекловидности зерна были идентифицированы на 4В и 5В хромосомах. Аналогичные данные по количеству локусов количественных признаков, связанных со стекловидностью зерна твердой пшеницы получены другими исследователями [13, 14, 15].

Цель исследований – определить изменение стекловидности зерна яровой твердой пшеницы в процессе селекции в Среднем Поволжье.

**Условия, материалы и методы.** Объектами исследований были сорта, объединенные в группы и отнесенные к разным этапам селекции (табл. 1).

К первому этапу отнесены сорта, созданные в XX в., в группу второго этапа объединены сорта, в родословной которых имеется значительная доля наследственности Саратовской золотистой (25 % и 53 % для Безенчукской степной и Памяти Чеховича соответственно). Сорта третьего этапа Безенчукская 205 и Марина объединяют 2 свойства – почти одновременное включение в реестр (2008, 2009 гг.) и общее происхождение (Гордеиформе 1434/Валентина). Существенная разница между этими сортами по срокам колошения и созревания (до 3...4-х дней) может влиять на формирование различий по стекловидности в зависимости от внешних условий среды. Общим началом группы сортов четвертого этапа, кроме периода включения в реестр, служит наличие в родословной сортов мягкой пшеницы и значительный вклад (50 %) в наследственность 3-х сортов (Безенчукская 210, Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость) генотипа Памяти Чеховича. Сорт Безенчукская 209 относится к короткостебельному биотипу – несет ген Rht1B1bс эффектом снижения высоты растений до 40,0 % относительно высокорослых сортов, что значительно уменьшает возможно-

сти реутилизации азота из стебля в период налива и созревания зерна и может влиять на величину показателя стекловидности. В связи с этим он не включен в четвертую группу сортов, к которой принадлежит хронологически. Его показатели рассматривали отдельно.

Исследование проводили в многолетнем эксперименте (2012–2020 гг.) на делянках 20 м<sup>2</sup> в 4-х, 5-иповторениях с рендомизированным размещением делянок в блоках. Почва экспериментального участка – южный, средне- и тяжелосуглинистый чернозем с содержанием гумуса 3,5...4,0 %, суммой поглощенных оснований 38,2...57,7 мг-экв., содержанием подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – соответственно 39...55 мг/кг и 330...389 мг/кг, кислотность – 6,7 ед. рН. Метеорологические условия в течение периода изучения сильно различались. Благоприятной для формирования зерна с высокой стекловидностью была погода в 2014, 2017 гг. (ГТК – 0,63 и 1,26 соответственно), средние условия отмечали в 2013, 2015, 2018, 2019 гг. (ГТК – 0,68, 0,68, 0,45 и 0,55 соответственно), неблагоприятные – в 2012, 2016 гг. (ГТК – 0,60 и 0,46 соответственно). Величину показателя стекловидности определяли в пробах отсортированного от половины зерна, взятого в 3-х полевых повторениях по доле полностью стекловидных зерен на срезе эндосперма, выраженной в процентах.

Экспериментальные данные обрабатывали с использованием методов дисперсионного (одно-и двухфакторного) и корреляционного анализа, путем расчета коэффициента вариации ( $CV_i$ ) по Б.А. Доспехову [16], коэффициента регрессии генотипа на среду ( $b_i$ ) по S.F. Eberhart, W.A. Russel в изложении А.И. Седловского и др. [17], гомеостатичности (Ном) по В.В. Хангильдину [18], показателя уровня стабильности сортов (ПУСС) по Э.Д. Неттевичу [19], параметров относительной стабильности ( $S_{gi}$ ) и селекционной ценности генотипа  $СЦГ_i$  по А.В. Кильчевскому, Л.В. Хотылевой [20].

Таблица 1 – Группы сортов разных этапов селекции, изучавшихся в 2012–2020 гг.

Этап селекции	Группа сортов	Год включения в реестр
I	Харьковская 46	1957
	Безенчукская 139	1980
	Безенчукская 182	1990
II	Безенчукская степная	2004
	Памяти Чеховича	2003*
III	Безенчукская 205	2007
	Марина	2008
IV	Безенчукская нива	2012
	Безенчукская 210	2015
	Безенчукская золотистая	2016
	Безенчукская крепость	2018
Вне группы	Безенчукская 209	2013

\*год передачи в Госкомиссию по сортоиспытанию

Таблица 2 – Эффекты среды, генотипа и их взаимодействия по результатам двухфакторного дисперсионного анализ стекловидности зерна (2012–2020 гг.)

Вид дисперсии	SS	ms	F	Доля источника дисперсии в общей изменчивости признака, %
Общая	48208,3			100,0
Генотипы	4461,3	405,6	17,3*	9,3
Годы	29517,5	3689,7	156,9*	61,2
Взаимодействие генотип/среда	9173,0	104,2	4,3*	19,0
Остаточная	5031,1	23,5		10,5

**Результаты и обсуждение.** Средняя стекловидность зерна в годы исследований составляла от 65,7 % (2016 г.) до 99,4 % (2014 г.). Коэффициент вариации средних значений признака по годам был равен 11,4 %, что указывает на его существенную зависимость от условий среды. Межсортовые коэффициенты вариации изменялись по годам от 0,7 % до 21,7 %, что также свидетельствует о существенной зависимости наблюдаемой генотипической изменчивости от условий среды.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 2) наибольший вклад в дисперсию признака стекловидность вносили условия среды (в нашем эксперименте – вариация по годам) – 61,2 %. Факторы генотипа и генотип/средовых взаимодействий также были значимыми, их влияние составило 9,3 % и 19,0 % соответственно. Таким образом, непосредственное (прямое) влияние наследствен-

ных (сортовых) особенностей и опосредованное – через их взаимодействие с условиями среды составляет почти 1/3 (28,3 %) изменчивости признака. Очевидно, что исследуемая сортовая популяция включает как относительно стабильные генотипы, так и генотипы с высоким значением признака при определенном сочетании средовых факторов.

По абсолютным величинам стекловидности за 9 лет выделены 4 сорта – Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Безенчукская нива и Безенчукская 210, относящиеся к 4-му этапу. Близкие к ним величины этого показателя отмечены у сортов 2-го этапа – Безенчукской степной и Памяти Чеховича (различия между группами недостоверны). Вторую группу образовали сорта 1-го (Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182) и 3-го (Марина, Безенчукская 205) этапов, а также сорт Безенчукская 209. Достоверных различий между ними по абсолютным значениям стекловидности не обнаружено. В то же время у сортов этих групп уровень стекловидности зерна был значимо ниже, чем у генотипов 2-го и 4-го этапа. Таким образом, прогресс по величине исследуемого признака в процессе селекции относительно первого этапа, наблюдали на 2-м и 4-м этапах, а на 3-м этапе он отсутствовал (см. рисунок, табл.3).

Преимущество сортов 2-го и особенно 4-го этапа по средней величине стекловидности за период исследований объясняется более высоким уровнем стабильности этого признака у сортов указанных этапов селекции. Для оцен-

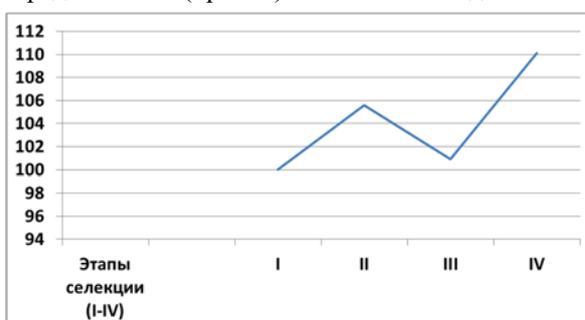


Рисунок. Изменение стекловидности зерна в процессе селекции по этапам (I-IV), в % к сортам первого этапа.

Таблица 3 – Стекловидность зерна сортов твёрдой пшеницы I-IV этапа селекции и параметры её стабильности и отзывчивости.

Этап селекции	Стекловидность, %	Sgi	СЦГi	bi	Hom	CV	ПУСС
I	84,7a*	15,7bc	31,2ab	1,21bc	12,1	15,8bc	516,8a
II	89,4bc	11,7ab	47,2bc	0,86ab	24,7	11,8ab	770,4ab
III	85,5ab	17,7c	24,8a	1,47c	11,7	17,8c	483,3a
IV	93,3c	7,0a	66,8c	0,62a	125,0	7,3a	1552,9b
Fкр	13,7**	9,5*	10,4*	9,5*	Ff<Ft	9,6*	4,38*
НСР0,05	4,0	5,5	21,1	0,42	-	5,4	895,3

\* значимые на 5,0 %-ном уровне коэффициенты критерия Фишера;

\*\*величины, сопровождаемые одинаковыми буквами, различаются недостоверно по критерию Дункана.

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции стекловидности с урожайностью, признаками качества зерна и продолжительностью вегетации (2012–2020 гг.)

Признак	Годы									Re
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Урожайность	0,33	0,23	0,65*	0,63*	0,59*	0,65*	0,06	0,10	0,65*	0,58
КДК	0,30	0,24	0,49	-0,14	-0,19	-0,22	0,40	-0,22	-0,35	0,52
Нагура	0,26	0,06	0,05	0,54	0,41	0,27	0,43	-0,02	0,13	-0,25
M1000	0,18	-0,08	0,03	0,22	0,45	0,03	-0,05	0,05	0,15	0,32
Цвет макарон	0,31	0,12	0,58*	0,61*	0,71	0,58*	0,20	0,39	0,76*	-0,13
SDS	-0,13	0,02	0,41	0,18	0,21	0,63*	0,21	0,23	0,18	-0,26
Белок	-0,13	-0,23	-0,22	0,31	0,11	-0,57	0,02	-0,13	-0,11	0,24

\*отмечены значимые на 5 %-ном уровне корреляции;  $R_e$  – средней коэффициент корреляции; КДК – количество дней от всходов до колошения; M1000 – масса 1000 зерен; SDS – показатель седиментации, полученный с добавлением додецилсульфата натрия.

ки значимости различий между параметрами стабильности и отзывчивости стекловидности зерна по этапам селекции применяли однофакторный дисперсионный анализ методом неорганизованных повторений, где в качестве повторений были взяты значения сортов, включенных в этапы селекции. По средним величинам параметров относительной стабильности –  $S_{gi}$ , коэффициента вариации – CV и показателя уровня стабильности сорта – ПУСС, генотипы 4-го этапа значимо превосходили сорта 1-го и 3-го этапов. Кроме того, по этим показателям, за исключением ПУСС, были установлены достоверные преимущества сортов 2 этапа над сортами 3 этапа.

По гомеостатичности признака (Ном), несмотря на значительное преимущество сортов 4-го этапа, достоверных различий между группами не выявлено. Это, видимо, связано с низкой, относительно других сортов 4-го этапа, величиной параметра гомеостатичности (Ном) у сорта Безенчукская 210, что существенно увеличило дисперсию ошибки.

Высокая отзывчивость исследуемого признака, если судить по коэффициенту регрессии ( $b_i$ ), характерна для сортов 3-го и 1-го этапов селекции. В тоже время генотипы 4-го этапа достоверно уступали по величине этого параметра сортам 1-го и 3-го этапа, сорта 2-го этапа сортам 3-го. Это объясняется достижением или приближением к нему в благоприятные для формирования стекловидности годы максимального (предельного) значения признака ( $Lim=100,0$  %) у всех изученных сортов, при существенной дифференциации в неблагоприятные годы. Это свидетельствует о высоком потенциале (максимально возможном) сортов всех этапов в реализации признака в благоприятных условиях для его формирования. Таким образом, низкие значения  $b_i$  у сортов 4-го и 2-го этапов подтверждают способность сортов стабильно формировать стекловидное зерно в разнообразных условиях среды.

По селекционной ценности генотипа (СЦГ<sub>i</sub>) сорта 4-го этапа селекции достоверно превосходят сорта 1-го и 3-го этапов. Геноти-

Таблица 5 – Характеристика сортов твердой пшеницы по стекловидности и параметрам стабильности и отзывчивости признака (2012–2020 гг.)

Сорт	Стекловидность, %			Sgi	СЦГ <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	Ном	CV	ПУСС
	средняя	min	max						
Харьковская 46	85,5abc*	54,2	99,3	15,2	32,9	1,27	12,4	15,3	539,7
Безенчукская 139	86,7 a-d	56,2	99,3	14,9	34,6	1,05	13,4	15,0	565,8
Безенчукская 182	81,9 a	52,3	98,7	16,9	26,0	1,32	10,4	17,0	444,9
Безенчукская степная	89,2 b-g	68,6	99,3	10,6	51,0	0,79	27,1	10,7	837,3
Памяти Чеховича	89,6 c-g	68,6	100,0	12,8	43,4	0,93	22,2	12,9	703,4
Марина	87,7 a-f	60,8	98,7	14,6	36,0	1,18	15,7	14,7	590,7
Безенчукская 205	83,2 ab	45,1	98,0	20,7	13,6	1,76	7,6	20,8	375,9
Безенчукская нива	93,2 e-g	73,2	99,3	8,7	60,4	0,69	40,2	8,9	1106,5
Безенчукская 210	91,8 d-g	68,6	100,0	10,3	53,5	0,79	28,0	10,4	910,3
Безенчукская золотистая	94,3 g	84,3	100,0	5,1	74,8	0,57	192,5	5,4	1875,5
Безенчукская крепость	93,8 g	88,2	100,0	4,0	78,6	0,43	239,1	4,3	2315,3
Безенчукская 209	85,5 abc	58,8	100,0	14,3	36,5	1,23	14,6	14,4	585,8
НСР0,05	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-

\*цифры, сопровождаемые одинаковыми буквами не различаются по критерию Дункана. Безенчукская нива

пы 2-го этапа значимо лучше по величине этого показателя сортов 3-го этапа селекции. Интегральный параметр  $СЦГ_i$ , характеризующий стабильность и отзывчивость признака в одной цифре, сформировался в период испытаний у сортов 4-го и 2-го этапов селекции под преобладающим влиянием стабильности ( $S_{gi}$ , CV, ПУСС), у сортов 1-го и 3-го этапов – под влиянием отзывчивости ( $b_i$ ). Таким образом, стабильность – определяющее свойство в селекции сортов с высокой стекловидностью зерна в условиях Среднего Поволжья.

Значительная доля достоверных на 5 %-ном уровне генотипических коэффициентов корреляции (5 из 9 лет) стекловидности с урожайностью показывает достаточно высокую эффективность параллельной селекции по этим признакам (табл. 4). Аналогичная ситуация наблюдается при анализе взаимосвязей стекловидности и цвета макарон.

По параметрам вегетационного периода, содержанию белка, крупности и натурной массе зерна достоверных корреляций на генотипическом уровне в течение 9 лет исследования не выявлено. Качество клейковины (по параметру SDS седиментации) только в 2017 г. было достоверно связано со стекловидностью зерна. При этом ряд сортов 4-го этапа (Безенчукская нива, Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость) с высоким уровнем стекловидности, значительно, по отношению к сортам первого этапа, улучшены по признаку SDS седиментации. В то же время сорта Безенчукская 209 и Безенчукская 210, также относящиеся к 4-му этапу селекции, сильно различаются по параметрам SDS седиментации и стекловидности. Безенчукская 209 характеризуется как сорт с очень высоким качеством клейковины (по величине седиментации), но достоверно уступает Безенчукской 210 по стекловидности зерна, соответствуя по этому признаку сортам 1-го этапа. Очевидно, что величины показателей названных сортов повлияли на степень генотипической взаимосвязи стекловидности зерна и качества клейковины в исследуемой популяции сортов. Тем не менее, процесс селекции генотипов, стабильно формирующих стекловидное зерно, может быть реализован параллельно с улучшением продукционных возможностей, цвета мака-

ронных изделий и созданием сортов с различной продолжительностью вегетационного периода, содержанием белка, крупностью и натурой зерна. Средовые коэффициенты корреляции позволяют предположить, что высокая стекловидность формируется в годы благоприятные для продукционного процесса и урожайности зерна и в годы с более продолжительным периодом вегетации (см. табл. 4). В качестве исходного материала в селекции на стекловидность зерна целесообразно использовать сорта 4-го этапа Безенчукскую золотистую и Безенчукскую крепость, как самые лучшие по параметрам стабильности –  $S_{gi}$ , CV, ПУСС и селекционной ценности генотипа –  $СЦГ_i$  (табл. 5). Целесообразно также в качестве исходного материала использовать Безенчукскую ниву и Безенчукскую 210, которые по параметрам стабильности и селекционной ценности близки к Безенчукской золотистой и Безенчукской крепости.

**Выводы.** В наших исследованиях наибольший вклад в дисперсию стекловидности зерна вносили условия среды (годы) – 61,2 %, факторы генотипа и генотип/средовых взаимодействий были значимы, их влияние составило 9,3 % и 19,0 % соответственно. Прогресс в селекции относительно первого этапа, наблюдали на 2-м и 4-м этапах. По абсолютным значениям стекловидности (91,8...94,3 %) за 9 лет выделились 4 сорта – Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Безенчукская нива и Безенчукская 210, созданные в годы 4-го этапа. Почти такие же величины этого показателя (89,2...89,6 %) отмечены у сортов 2-го этапа – Безенчукской степной и Памяти Чеховича. Успешная селекция по стекловидности зерна твёрдой пшеницы связана с улучшением параметров стабильности формирования признака в разнообразных условиях среды. Генотипические коэффициенты корреляции позволяют надеяться на высокую эффективность одновременного отбора по стекловидности, продуктивности и достаточно широкому спектру параметров вегетационного периода и качества зерна. В качестве исходного материала в селекции на стекловидность зерна предложены сорта 4-го этапа Безенчукская золотистая и Безенчукская крепость.

#### Литература

1. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Federal Grain Inspection Service. Subpart M - United States Standards for Wheat. 2014.
2. Dexter J.E., Preston K.R., Woodbeck N.J. Future of flour a compendium of flour improvement // Canadian wheat. 2006. Chapter 6. P. 43–62.
3. Kadkol G.P, Sissons M. Durum Wheat: Overview // Encyclopedia of Food Grains, Second Edition. 2016. Vol. 1. P. 117–124. doi: 10.1016/B978-0-12-394437-5.00024-3.
4. Official Journal of the European Union. Regulations. Commission Regulations Regulation (EU) No 642/2010 of 20 July 2010. on rules of application (cereal sector import duties) for Council Regulation (EC) No 1234/2007. (codification). P. L187/5-L187/22.
5. Matsuo R.R., Dexter J.I. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties // Canad. J. Plant. Sci. 1980. Vol.60. № 1. P. 117–120.
6. Sissons M. Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bread//Food. Global Science Books. 2008. P. 75–90.
7. Effects of climatic factors on grain vitreousness stability and heritability in durum wheat / G.R. Brankovic, D. Dodig, M.Z. Zoroc, et al. // Turk J Agric For. 2014. Vol. 38. P. 429–440. doi: 10.3906/tar-1308-51.
8. Association Mapping for 24 Traits Related to Protein Content, Gluten Strength, Color, Cooking, and Milling

Quality Using Balanced and Unbalanced Data in Durum Wheat [*Triticum turgidum* L. var. durum (Desf)] / M. Johnson, A. Kumar, A. Oladad-Abbasabadi, et al. // *Front. Genet.* 2019. No. 16. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2019.00717/full> (дата обращения: 12.08.2021). doi: 10.3389/fgene.2019.00717.

9. Васильчук Н.С. Селекция яровой твёрдой пшеницы. Саратов: "Новая газета", 2001. 124 с.

10. Стекловидность зерна твердой яровой пшеницы в условиях Западной Сибири / М.Г. Евдокимов, В.С. Юсов, И.В. Пахотина и др. // *Зерновое хозяйство России.* 2019. № 5 (65). С.24–28. doi: 10.31367/2079-8725-2019-65-524-28.

11. Качество зерна донских селекционных сортов яровой твердой пшеницы / В.Н. Кадушкина, А.И. Грабовец, О.В. Бирюкова и др. // *Научн. журнал Российского научно-исследовательского института проблем землеустройства.* 2018. №4. С. 266–276. doi: 10.31774/2222-1816-2018-4266-276.

12. Коваленко С.А., Кадушкина В.П., Бирюкова С.А. Стекловидность зерна яровой твердой пшеницы в условиях севера Ростовской области // *Зернобобовые и крупяные культуры.* 2021. №1 (37). С. 99–104. doi: 10.24412/2309-348X-2021-1-99-104.

13. Gupta P. K., Kulwal P. L., Jaiswal V. Association mapping in plants in the post-GWAS genomics era // *Adv. Genet.* 2019. No. 104. P. 75–154. doi: 10.1016/bs.adgen.2018.12.001.

14. Genetic dissection of agronomic and quality traits based on association mapping and genomic selection approaches in durum wheat grown in Southern Spain / R. Merida-Garcia, G. Liu, S. He, et al. // *PLoS ONE.* 2019. Vol. 14 (2). e0211718. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0211718>. doi: 10.1371/journal.pone.0211718 (дата обращения: 09.09.2021).

15. Genome-wide linkage mapping of flour color-related traits and polyphenol oxidase activity in common wheat / S. Zhai, Z. He, W. Wen, et al. // *Theor. Appl. Genet.* 2016. No. 129. P.377–394. doi: 10.1007/s00122-015-2634-6.

16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416с.

17. Седловский А.И., Мартынов С.П., Мамонов Л.К. Генетико-статистические подходы к теории селекции самоопыляющихся культур. Алма-Ата: Наука, 1982. 200 с.

18. Хангильдин В.В. Принципы моделирования сортов интенсивного типа // *Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений: сборник научных трудов.* М.: Наука, 1978. С.111–116.

19. Неттевич Э.Д. Избранные труды. Селекция и семеноводство яровых зерновых культур. Немчиновка: НИИСХ ЦРНЗ, 2008. 348 с.

20. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.

#### Сведения об авторах:

Мальчиков Петр Николаевич – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции твёрдой пшеницы; e-mail: [sagrs-mal@mail.ru](mailto:sagrs-mal@mail.ru)

Мясникова Марина Германовна – ведущий научный сотрудник лаборатории селекции твёрдой пшеницы

Чахеева Тамара Вардкесовна – научный сотрудник лаборатории селекции твёрдой пшеницы; e-mail: [chakheeva@icloud.com](mailto:chakheeva@icloud.com),

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М.Тулайкова. Самарская область, пгт. Безенчук, Россия

### CHANGE IN THE VITREOUSNESS GRAIN OF DURUM WHEAT IN THE BREEDING PROCESS IN THE MIDDLE VOLGA REGION

P.N. Malchikov, M.G. Myasnikova, T.V. Chaheeva

**Abstract.** The vitreousness of grain is an important trait taken into account by the state standards of many countries when determining its quality class. When creating new cultivars, this trait is controlled at all stages of breeding. The article presents the results of studying the vitreousness of grain cultivars of Samara Research Institute of Agriculture, related to the 4 stages of breeding covering the periods - 1957-1990 (stage I), 2003-2004 (stage II), 2007-2008 (stage III), 2012-2018 (stage IV). The study was carried out on the experimental field of Samara Research Institute of Agriculture during 2012-2020. Experimental plots with an accounting area of 20.0 m<sup>2</sup> were placed in randomized blocks. Vitreousness was determined by the percentage of vitreous grains on the endosperm section in refined grain samples taken in 3 field replicates. The evaluation of the data obtained was carried out on the basis of 2-factor, one-way dispersion and correlation analyzes, parameters of stability and responsiveness according to the methods of Kilchevsky, Khotyleva, Eberhart-Russell, Khangildin, Nettevich. The dispersion of grain vitreousness was determined by environmental conditions – 61.2%, genotype factors and genotype/environmental interactions – 9.3% and 19.0%, respectively. Progress in breeding relative to the first stage was observed at the 2<sup>nd</sup> and 4<sup>th</sup> stages and was absent at the 3<sup>rd</sup> stage. According to the absolute values of vitreousness (91.8-94.3%), 4 cultivars were distinguished - Bezenchukskaya zolotistaya, Bezenchukskaya krepост, Bezenchukskaya nivaand Bezenchukskaya 210, belonging to the 4<sup>th</sup> stage. Values close to these (89.2-89.6%) were noted in the varieties of the 2<sup>nd</sup> stage - Bezenchukskaya stepnaya and Pamyaty Chekhovicha. Successful breeding for the vitreousness of durum wheat grain is associated with an improvement in the parameters of the stability of the formation of a trait in a variety of environmental conditions. Reliable genotypic correlations of glassiness, grain yield and macaroni color show the effectiveness of simultaneous selection for these traits. The absence of significant correlations of grain vitreousness with vegetation parameters, and quality, suggests the possibility of obtaining the necessary recombinations in the selection process. Genotypic correlation coefficients show the possibility of breeding productive cultivars with a high vitreousness of grain and a varied combination of parameters of the growing season and grain quality. Cultivars of the 4<sup>th</sup> stage, Bezenchukskaya zolotistaya and Bezenchukskaya krepост, were proposed as a initial material in breeding for grain vitreousness.

**Key words:** durum wheat, cultivar, grain vitreousness, stability, productivity, grain quality.

#### References

1. United States Department of Agriculture, Agricultural Marketing Service, Federal Grain Inspection Service. Subpart M - United States Standards for Wheat. 2014.

2. Dexter JE, Preston KR, Woodbeck NJ. [Future of flour a compendium of flour improvement]. Canadian wheat. Chapter 6. 2006; 43-62 p.

3. Kadkol GP, Sissons M. Durum Wheat: Overview. Encyclopedia of food grains. Second edition. 2016; Vol. 1. 117-124 p. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00024-3>.

4. Official Journal of the European Union. Regulations. Commission Regulations Eglution (EU). No 642/2010 of 20 July 2010. On rules of application (cereal sector import duties) for Council Regulation (EC) No 1234/2007. (codification). L187/5-L187/22 p.

5. Matsuo RR, Dexter JI. Relationship between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Canad.J.Plant. Sci.* 1980. Vol.60. (1). 117-120 p.
6. Sissons Mike. Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food. Global Science Books.* 2008; 75-90 p. <https://www.researchgate.net/publication/228487489>.
7. Brankovic GR, Dodig D, Zoroc MZ. Effects of climatic factors on grain vitreousness stability and heritability in durum wheat. *Turk J Agric For.* 2014; Vol. 38. 429-440 p. doi:10.3906/tar-1308-51.
8. Johnson M, Kumar A, Oladzad-Abbasabadi A. Association mapping for 24 trials related to protein content, gluten strength, color, cooking, and milling quality using balanced and unbalanced data in durum wheat [*Triticum turgidum L.var.durum (Desf)*]. *Front. Genet.* 2019; (16). [cited 2021, September 12]. Available from: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00717>.
9. Vasil'chuk NS. Seleksiya yarovoi tvrdoj pshenitsy. [Breeding of spring durum wheat]. Saratov: Novaya gazeta. 2001; 124 p.
10. Evdokimov MG, Yusov VS, Pakhotina IV. [Vitreous grain of durum spring wheat in the conditions of Western Siberia]. *Zernovoe khozyaistvo Rossii.* 2019; 5 (65). 24-28 p. doi: 10.31367/2079-8725-2019-65-524-28.
11. Kadushkina VN, Grabovets AI, Biryukova OV. [Grain quality of Don breeding varieties of spring durum wheat]. *Nauchn.zhurnal Rossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta problem zemleustroistva.* 2018; (4). 266-276 p. doi: 10.31774/2222-1816-2018-4266-276.
12. Kovalenko SA, Kadushkina VP, Biryukova SA. [Vitreous grain of spring durum wheat in the north of Rostov region]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury.* 2021; 1 (37). 99-104 p. doi: 10.24412/2309-348X-2021-1-99-104.
13. Gupta PK, Kulwal PL, Jaiswal V. [Association mapping in plants in the post-GWAS genomics era]. *Adv.Genet.* 2019; (104). 75-154 p. doi: 10.1016/bs.adgen.2018.12.001.
14. Merida-Garcia R, Liu G, He S, Gonzalez-Dugo V, Dorado G, Galvez S. [Genetic dissection of agronomic and quality traits based on association mapping and genomic selection approaches in durum wheat grown in Southern Spain]. *PLoS ONE.* 2019; 14 (2). e0211718. doi: 10.1371/journal.pone.0211718.
15. Zhai S, He Z, Wen W, Jin H, Liu J, Zhang Y. [Genome-wide linkage mapping of flour color-related traits and polyphenol oxidase activity in common wheat]. *Theor. Appl. Genet.* 2016; (129). 377-394 p. doi: 10.1007/s00122-015-2634-6.
16. Dospikhov BA. Metodika polevogo opyta. [Field experiment technique]. Moscow: Kolos. 1979; 416 p.
17. Sedlovskii AI, Martynov SP, Mamonov LK. Genetiko-statisticheskie podkhody k teorii seleksii samoopylyayushchikhsya kul'tur. [Genetic-statistical approaches to the theory of selection of self-pollinating crops]. Alma-Ata: Nauka. 1982; 200 p.
18. Khangil'din VV. [Principles of modeling varieties of intensive type]. *Genetika kolichestvennykh priznakov sel'skokhozyaistvennykh rastenii: sbornik nauchnykh trudov.* Moscow: Nauka. 1978; 111-116 p.
19. Nettevich ED. Izbrannye trudy. Seleksiya i semenovodstvo yarovykh zernovykh kul'tur. [Selected papers. Selection and seed production of spring grain crops]. Nemchinovka: NIISKh TsRNZ. 2008; 348 p.
20. Kil'chevskii AV, Khotyleva LV. Ekologicheskaya seleksiya rastenii. [Ecological plant breeding]. Minsk: Tekhnologiya. 1997; 372 p.

**Authors:**

Malchikov Petr Nikolaevich - Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher of Durum Wheat Breeding Laboratory, ORCID: 0000-0002-2141-6836; e-mail: [sagrs-mal@mail.ru](mailto:sagrs-mal@mail.ru)  
 Myasnikova Marina Germanovna - Leading Researcher of Durum Wheat Breeding Laboratory, ORCID: 0000-0002-7224-03-08; e-mail: [sagrs-mal@mail.ru](mailto:sagrs-mal@mail.ru)  
 Chakheeva Tamara Vardkesovna - Researcher of Durum Wheat Breeding Laboratory, ORCIDID: 0000-0002-9328-473X; e-mail: [chakheeva@icloud.com](mailto:chakheeva@icloud.com),  
 Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaykova. Samara region, Bezenchuksky district, urban village Bezenchuk,