

УДК 633.111.1"321": 631.523.4 : 631.524.02(571.1)

НАКОПЛЕНИЕ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕНОТИПА И СРЕДЫ

© 2017 П.Н. Мальчиков¹, М.А. Розова², М.Г. Мясникова¹, Е.Н. Шаболкина¹,
Н.В. Анисимкина¹, В.И. Цыганков³, А.И. Зиборов², И.В. Фомина⁴

¹ ФГБНУ «Самарский НИИСХ», п.г.т. Безенчук Самарской обл.

² Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Барнаул,

³ Актюбинская сельскохозяйственная опытная станция, г. Актюбинск, Казахстан

⁴ ЗАО «Кургансемена», г. Курган.

Статья поступила в редакцию 16.11.2017

Проблема содержания белка в зерне пшеницы, как селекционного признака, осложнена отрицательной взаимосвязью с урожаем зерна, что делает трудным селекцию по этим двум признакам одновременно. Возможным способом преодоления или ослабления остроты противоречивости этих признаков может быть привлечение в селекцию «сильных» генов, обеспечивающих высокое содержание белка. Эти гены (*Gpc*) были обнаружены у дикой полбы (*Triticum dicoccoides*), они часто встречаются у ландрасов твердой и мягкой пшеницы и очень редко у сортов периода научной селекции, в том числе современных сортов. В связи с этим цель исследований заключалась в поиске высокобелковых генотипов твердой пшеницы с высокой стабильностью признака среди сортов разных этапов селекции в России. Исследования проведены в 9 средах локализованных в регионах России и Казахстане (Актюбинск). Изучены 29 сортов. В результате была определена структура варианты, где доля генотипа составила 18,6%, среды 41,9%, генотип-средовых взаимодействий (GI) 38,8%. Параметры адаптивности, стабильности и селекционной ценности генотипов значительно варьировали в зависимости от особенностей сортов, что стало объективной основой для применения кластерного анализа. В результате исследуемые сорта были сгруппированы в 5 кластеров. Сорта первого кластера, характеризующиеся низкой вариансой взаимодействия в конкретной среде (CACi), стабильностью признака и высокими параметрами общей адаптивности (OACi), представляют интерес для селекции. Предполагается, что сорта этого кластера, в родословную которых большой вклад внесли высокобелковые генотипы «Харьковская 46» и «Харьковская 51», образцы *Triticum dicocum* и местные сорта, могут нести «сильные» гены с эффектами аналогичными аллелям локусов *Gpc*.

Ключевые слова: твердая пшеница, сорт, белок, генотип, среда, взаимодействие, стабильность, адаптивность, кластер.

ВВЕДЕНИЕ

По оценкам экспертов общий индекс качества макарон, формируется количеством клей-

Мальчиков Петр Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник.

E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Розова Маргарита Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующая лабораторией селекции твердой пшеницы. E-mail: mrosova@yandex.ru

Мясникова Марина Германовна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лабораторией селекции твердой пшеницы. E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Шаболкина Елена Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией технологического сервиса. E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Анисимкина Наталья Васильевна, инженер-технолог. E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Цыганков Владимир Игоревич, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом селекции и первичного семеноводства.

Зиборов Андрей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции твердой пшеницы. E-mail: mrosova@yandex.ru

Фомина Ирина Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая отделом селекции.

E-mail: fomina@kurgansemena.ru

ковины (40,0%), её качеством (40,0%) и содержанием каротиноидов (20,0%) в используемом сырье [1]. Значительная роль в детерминации качества пасты массовой доли клейковины, формируемой на основе белковых веществ в зерне, определяется незаменимостью этих компонентов (белок, клейковина) для образования структуры пасты, с четко выраженным компактным матриксом в виде сетки из коагулированного белка, содержащей выпуклые гранулы крахмала. Белковый матрикс является своеобразным «барьером» на пути активных ферментов к крахмалу, что защищает его от быстрого гидролиза и накопления глюкозы в крови человека с инсулиновым откликом. Эти свойства пасты относят её к группе медленно перевариваемых крахмалистых продуктов с низким гликемическим индексом [2, 3, 4]. Кроме того, концентрация белка в продуктах питания - неотъемлемый атрибут их биологической ценности. Накопление белка в зерне пшеницы зависит от условий среды в период вегетации растений, уровня агротехники, плодородия почвы, способности генотипа к поглощению азота и биохимическому синтезу аминокислот и белка. Изменчивость признака

у пшеницы как вида колеблется в пределах 7,0-23,0% [5], или по данным ВИРа от 9,9% (образец *Tr.aestivum*) до 31,6% (образец *Tr. araraticum*) [6]. Селекция на высокое содержание белка в зерне сдерживается отрицательной взаимосвязью этого признака с урожайностью зерна. Это противоречие четко проявилось при значительном улучшении генетического потенциала урожайности пшеницы в середине XX века. В связи с этим в различных странах были проведены селекционные работы, направленные на создание высокобелковых сортов мягкой и твердой пшеницы. Наиболее интенсивные исследования и селекционные мероприятия были проведены в США и Канаде, где удалось увеличить содержание белка в зерне новых сортов мягкой пшеницы на 0,3-0,5% в абсолютных значениях [6]. Дальнейшее продвижение селекции в этом направлении не имело успеха, что объясняется полигенной природой признака, сильной зависимостью от условий среды и отрицательной корреляцией с урожаем, усложняющей селекцию по двум направлениям одновременно. Возобновление интереса к проблеме повышения суммарного белка в зерне пшеницы произошло после обнаружения крупнозерных высокобелковых генотипов среди коллекционных образцов дикой полбы *Triticum dicoccoides*. Один такой образец FA-15-3 из Израиля был изучен в скрещиваниях с серией дителосомных линий сорта Langdon твердой пшеницы. Изучение потомства от этих скрещиваний позволило идентифицировать, а затем маркировать ответственный за высокое содержание белка locus *QGpc.ndsu-6Bb* на коротком плече 6В хромосомы близ центромеры на участке между средними точками *Xabg387-6B* и *Xmwg 79-6B*, где расположены 11 маркеров [7, 8]

Физиологические и биохимические механизмы высокого содержания белка у линий с транслокацией *QGpc.ndsu-6Bb* были связаны с более ранним сроком деградации хлорофилла и отмиранием тканей листьев, стебля и колосковых чешуй, более интенсивной ремобилизацией (реутилизацией) азота вегетативной части растений и широкими соотношениями: общий (валовый) азот сухой массы растения / общая сухая масса растения, К.хоз. (Harvest index) азота растения / К.хоз. (Harvest index) урожая зерна [9]. Позднее были определены другие локусы, *Gpc* в гомеологичных группах хромосом (6А, 6D). Вся совокупность полученной научной информации и новых технологий маркирования признаков была использована для генетического скрининга коллекций и исследования интенсивности эрозии (элиминации) генов белковости зерна в процессе доместикации и научной селекции. В результате были обнаружены сильные, в сравнении с доместикацией, негативные эффекты

научной селекции на содержание белка в зерне мягкой и твердой пшеницы. Тем не менее, среди современных сортов были идентифицированы генотипы несущие локусы *Gpc*. На различных этапах селекции в России, в том числе и в настоящее время, для скрещивания привлекалось большое количество генотипов из кластера стержневой коллекции высокобелковых образцов пшеницы ВИРа, что с определенной вероятностью, предполагает передачу современным сортам соответствующих генов [6].

В связи с этим цель исследований, результаты которых представлены в данной публикации, заключалась в поиске среди современных продуктивных сортов твердой пшеницы, созданных в селекционных центрах России, генотипов стабильно формирующих в различных условиях среды зерно с высоким содержанием белка, т.е. потенциальных носителей локусов *Gpc*.

МАТЕРИАЛ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований были 29 сортов и селекционных линий. Все изученные сорта были объединены в группы по этапам селекции твердой пшеницы в России. Исторические сорта Харьковская 46 и Безенчукская 139 представляли 4-5 этапы соответственно. Сорта 6 этапа были представлены Безенчукской 182, Саратовской золотистой, Жемчужиной Сибири, Алтайской нивой, Алтайским янтарем и Омским корундом. Из сортов 7 этапа в исследования были включены: Безенчукская 205, Краснокутка 13, Донская элегия, Безенчукская нива, Безенчукская 209, Безенчукская 210, Безенчукская золотистая, Луч 25, Памяти Янченко, Солнечная 573, Оазис. Кроме коммерческих сортов в эксперименте были изучены селекционные линии и сорта, проходящие государственные испытания, из 3-х учреждений: НИИСХ Юго-Востока (Д2098, 98с-08), Алтайского НИИСХ (Гордеиформе 677), Самарского НИИСХ (Безенчукская крепость, Золотая, 1368д-18, 1477д-4). Необходимо подчеркнуть, что исторический сорт «Харьковская 46», полученный в результате привлечения для гибридизации генплазмы вида *Triticum dicoccum*, по результатам длительного периода изучения, до сих пор является одним из самых высокобелковых сортов твердой пшеницы в России и на Украине [10, 11, 12, 13]. В связи с этим в исследовании этот сорт использовался в качестве стандарта.

Условия полевых экспериментов были достаточно разнообразными. Урожайность по пунктам и годам исследований варьировала от 13,3 ц/га до 39,5 ц/га, что позволило оценить накопление белка в зерне в зависимости от продукционных возможностей генотипа, т.е. от

звивчивости исследуемого признака на условия выращивания растений. Средней силы стрессовые факторы действовали в Безенчуке (2015-2016гг.) и в Актюбинске (2016г.), относительно благоприятные условия наблюдались в Кургане (2014-2015гг.) и в Барнауле (2016г.), благоприятные условия имели место в Барнауле (2014-2015гг.) и в Безенчуке (2014г.), с уровнем урожайности в среднем по эксперименту – 13,3ц/га, 15,5ц/га, 14,7ц/га, 21,4ц/га, 23,4ц/га, 23,7ц/га, 35,0ц/га, 39,5ц/га, 28,2 ц/га соответственно порядку экопунктов, представленных выше. Содержание белка в зерне варьировало по среднему значению в каждом из 9-и экспериментов от 15,5% до 18,0%. Величина признака у Харьковской 46 изменялась от 16,0% до 18,4%.

Содержание белка в зерне определялось в лаборатории технологического сервиса и массовых анализов Самарского НИИСХ по Кьельдалю и общепринятым прописям

Полевые эксперименты проведены на делянках 10,0м², в 3-4-х повторениях с рендомизированным размещением делянок по блокам.

Полученные данные для определения структуры генотип-средовой вариации были обработаны методами дисперсионного анализа [14] и по методике А.В. Кильчевского, Л.А. Хотылевой [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам 2-х факторного дисперсионного анализа комплекса «генотип – среда», где «среда» объединяет дисперсии вызванные условиями пунктов и лет исследований, были установлены значимые эффекты генотипов, среды и их взаимодействия на формирование признака «содержание белка в зерне» (табл.1).

Средовые эффекты составили 41,9% дисперсии признака в исследуемом комплексе, что в 2,2 раза превышает уровень влияния генотипа и почти не отличается от доли генотип-средовых взаимодействий. Суммарный эффект генотипа и генотип-средовых взаимодействий определял 57,4 % от общего варьирования. Это означает, что среди исследуемых генотипов в данном наборе сред, имеется значительное со-

ровное разнообразие, как по средней величине признака по всем средам в эксперименте, так и в отдельных средах. Необходимо отметить, что результаты, показанные всеми сортами во всех точках испытания, соответствуют оптимальным значениям концентрации белка в зерне (12,0-15,0%) для производства высококачественной макаронной продукции. Средние величины признака варьировали по сортам в зависимости от пункта и года испытания от 14,0% (Безенчукская 205, Безенчук, 2016г.) до 20,9 % (Омский изумруд, Безенчук, 2015г.). Различия между сортами в среднем по всему эксперименту достигали 2,0% в абсолютном значении или 11,5% по отношению максимального (Солнечная 573) и минимального (Безенчукская 205) уровней (табл. 2).

Достоверное в среднем по эксперименту преимущество по исследуемому признаку над Харьковской 46 отмечено только у сорта «Солнечная 573». Варьирование концентрации белка в зерне у большинства сортов (у 18 из 29) находилось в пределах изменчивости Харьковской 46. К этой группе (недостаточно отличающихся от Харьковской 46) отнесены сорта, созданные в Поволжье – Безенчукская 139, Безенчукская степная, Безенчукская золотистая, Безенчукская крепость, Саратовская золотистая, Краснокутка 13, Д2098 и Донская элегия – селекции АНЦ «Донской», а также все сорта из Западной Сибири (Алтайский НИИСХ, Омский НИИСХ). Достоверное снижение уровня признака по отношению к Харьковской 46 отмечено для сортов: Безенчукская 205, Безенчукская нива, Безенчукская 210, Безенчукская 209, Луч-25, 98с-08 и 1477Д-4. Все они принадлежат к последнему 7 этапу селекции. Среди сортов 6 этапа достоверное снижение концентрации белка к уровню Харьковской 46 наблюдалось только у Безенчукской 182. Общая закономерность отрицательной корреляции, преобладающая во взаимосвязях при варьировании урожайности и белковости, подтверждается в наших экспериментах на уровне значимости 0,01% в 6-и из 9-и полевых опытов (табл.3).

Эти результаты требуют краткого анализа и пояснений. Три фона, на которых формирование

Таблица 1. Дисперсия признака «содержание белка в зерне» под влиянием факторов среды (9 факторов) и эффектов генотипа (29 сортов), по данным экспериментов, выполненных в Безенчуке, Барнауле (2014-2016), Кургане (2014-2015), Актюбинске (2016)

Факторы дисперсии	SS	F _{кр}	Доля изменчивости, %
(А) Генотип	145,2	266,5*	18,6
(В) Среда (год, экопункт)	326,4	2096,6*	41,9
(А*В) Взаимодействие	302	69,3*	38,8
(А+АВ) Суммарный эффект	447,2		57,4
Случайные факторы	5,12		0,7

Таблица 2. Содержание белка в зерне сортов твердой пшеницы по годам, пунктам и относительно величины признака у сорта «Харьковская 46»

Сорт	Содержание белка в зерне по годам и пунктам, %										
	2014			2015			2016			Среднее по генотипу	% к Х46
	Без	Кур	Бар	Без	Бар	Кур	Без	Бар	Акт		
Х46	17,1	17,7	17,5	18,4	16,4	18,0	16,0	17,9	16,4	17,3	100,0
Б139	16,7	17,3	17,1	18,8	15,8	16,4	15,5	17,9	17,0	17,0	98,3
Б182	15,5	17,3	17,3	18,0	15,2	16,6	14,9	18,5	16,1	16,6	96,1
СЗ	17,1	18,1	17,7	18,8	16,0	16,4	16,4	18,8	16,1	17,3	100,0
БС	16,1	17,3	16,9	18,0	16,0	16,8	15,1	19,2	16,1	16,8	97,5
ЖС	17,1	17,3	16,5	19,2	16,2	16,2	15,7	17,0	16,0	16,8	97,4
Б205	16,9	17,1	15,3	16,0	15,4	16,8	14,0	17,2	16,6	16,1	93,6
К13	17,3	17,7	15,9	18,0	16,4	17,8	14,6	17,9	16,4	16,9	97,8
ДЭ	16,5	17,5	16,9	17,6	15,6	17,6	15,1	17,2	15,3	16,6	96,0
БН	16,3	16,9	15,9	17,7	15,2	17,2	14,6	17,4	16,0	16,4	94,8
Б209	15,7	15,9	16,5	16,0	15,2	18,8	14,4	17,7	15,7	16,2	93,9
Б210	15,7	17,7	15,7	16,4	15,2	17,6	14,6	18,1	15,3	16,3	94,1
БЗ	15,9	18,1	16,3	17,2	16,0	18,4	14,9	18,4	16,4	16,8	97,5
Л25	16,5	17,9	15,9	17,7	15,2	17,2	14,2	18,5	16,8	16,6	96,5
Д2098	16,5	17,9	15,5	17,6	16,2	18,0	14,9	17,9	16,6	16,8	97,3
98с08	15,1	17,9	15,1	18,5	16,0	16,4	15,3	17,9	15,5	16,4	95,1
ОИ	17,5	17,9	19,0	20,9	16,0	14,6	19,2	15,7	18,8	17,7	103,0
Г677	16,9	17,7	19,0	20,3	16,2	17,6	15,5	16,8	16,8	17,4	100,9
БК	17,1	18,7	15,9	18,1	16,0	16,8	15,3	18,8	16,4	17,0	98,5
З	15,7	17,9	15,3	17,2	16,0	16,6	14,6	16,8	15,3	16,2	93,6
1368Д18	16,9	17,5	15,5	17,2	16,0	16,6	15,1	18,1	16,1	16,6	96,0
1477Д4	16,1	17,3	15,9	17,2	16,0	15,6	15,1	16,6	16,0	16,2	93,90
СалА	17,1	17,7	16,9	18,4	17,6	19,0	16,6	19,4	17,7	17,8	103,3
С573	18,1	17,5	17,7	20,3	18,8	17,6	16,4	19,0	17,7	18,1	105,1
ПЯ	16,9	18,5	16,7	18,1	18,4	17,2	15,3	18,1	17,7	17,4	101,1
АН	15,9	18,0	17,1	18,0	18,0	17,4	15,3	18,4	17,2	17,3	100,0
АЯ	16,7	17,8	16,8	18,0	18,0	16,6	15,1	17,9	17,4	17,1	99,5
ОК	16,4	17,5	16,5	18,0	16,0	17,0	15,3	17,7	17,7	16,9	97,9
ОАЗ	17,3	18,4	17,3	18,4	15,8	17,8	19,6	16,6	17,9	17,7	102,6
НСР _{0,05}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	3,5
CV	4,2	3,0	6,0	5,4	6,0	8,0	4,8	5,3	3,7		

признаков проходило независимо, имели различные причины такой направленности изменчивости. Среда «Курган 2014», где при значительном генотипическом варьировании урожайности (CVg - 17,1%) аналогичной изменчивости по содержанию белка не наблюдалось, - коэффициент вариации (CVg - 3,0%) этого признака был самым низким в серии экспериментов. Первые 12 мест здесь по содержанию белка (от 18,7% - Безенчукская крепость до 17,7% - Безенчукская 210) заняли

самые разнообразные сорта по скороспелости и морфотипу. В частности, в эту группу сортов вошли Безенчукская золотистая - скороспелый, среднерослый сорт (18,1% белка) и Омский изумруд самый поздний и высокорослый генотип в исследуемом наборе (17,9% белка). Это объясняется доступностью азота почвы на всех этапах онтогенеза растений, благоприятным ритмом осадков и температуры, положительно влияющих на процессы накопления белка и нивели-

Таблица 3. Урожайность зерна, содержание белка в нём и степень их генотипической изменчивости и взаимосвязи по пунктам испытания

Среда	Урожай зерна, ц/га	Содержание белка в зерне, %	CVg* урожай	CVg сод.белка	Коэффиц. корреляции «урожай-белок»
Безенчук 14	28,2	16,6	11,2	4,2	-0,54**
Курган 14	21,4	17,7	17,1	3,0	0,01
Барнаул 14	35,0	16,6	4,9	6,0	-0,23
Безенчук 15	13,3	18,1	14,5	6,4	-0,47**
Курган 15	23,4	17,1	23,2	5,4	-0,52**
Барнаул 15	39,5	16,2	9,8	6,0	-0,02
Безенчук 16	23,7	15,5	24,5	8,0	-0,78**
Барнаул 16	14,7	17,8	16,7	4,8	-0,67**
Актюбинск 16	15,5	16,6	28	5,3	-0,69**
Средняя по средам	23,9	16,9	16,7	5,5	-0,46*

*CVg – генотипический коэффициент вариации

рующих генетические различия сортов по этому признаку [16, 17]. Недостовверные корреляции между урожаем и белковостью зерна в Барнауле (2014-2015гг.), объясняются слабой изменчивостью по урожаю зерна.

Сильные коэффициенты корреляции $>[0,60]$ наблюдались на фонах, где в течение вегетационного периода действовали значительные по количеству и силе стрессовые и лимитирующие факторы (Безенчук 2015-2016; Актюбинск 2016). В частности в Безенчуке в 2016 году, при средней урожайности 23,7 ц/га, значительная дифференциация по урожайности была вызвана эпифитотиями листовых пятнистостей (*Fusarium spp*) и стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis*). Очевидно, что восприимчивые к патогенам сорта, утратившие под их воздействием ассимиляционный потенциал, не реализовали свои возможности по наполнению эндосперма его основным компонентом – крахмалом, что при ранней реутилизации азота из вегетативных органов привело к увеличению доли азотистых веществ в зерне. Аналогичный ход рассуждений справедлив и для других стрессовых факторов, приводящих к дифференциации сортовой популяции по продолжительности фотосинтетической активности. Кроме того, очевидно, что накопление белка в зерне испытывает влияние множества других факторов среды разной направленности (оказывающих плюс и минус эффекты), «поток» которых и их взаимодействие с генотипом в течение онтогенеза трудно контролировать. Тем не менее, стабилизация количественного признака (в данном случае содержание белка в зерне) на приемлемом уровне является важнейшей целью и одновременно проблемой для селекционеров. Сложность заключается в наличии генотип-средовых взаимо-

действий, которые проявляются в конкретной среде и являются результатом действия отбора. Количественно измерить эффекты среды, генотипа и генотип-средовых взаимодействий (GEI) позволяет обычный 2-х или 3-х факторный дисперсионный анализ. Его результаты по оценке структуры вариансы в нашем эксперименте представлены в табл. 1. Однако дисперсионный анализ является простой аддитивной моделью, в которой GEI оценивается как источник вариации, но его внутренние эффекты не анализируются. Существуют различные методы анализа вариансы взаимодействия. В данной публикации применялась методология Кильчевского, Хотылевой [15]. Эта методика позволяет оценить общую адаптивную способность (OAC_i) по среднему значению признака в различных средах, вариансу специфической адаптивной способности ($\sigma^2 SAC_i$) по отклонению от OAC_i в определенной среде, относительную стабильность генотипа (S_{gi}), селекционную ценность генотипа ($СЦГ_i$), коэффициенты компенсации (K_{gi}) и линейности (l_{gi}), позволяющие в совокупности интерпретировать вариансу взаимодействия генотип-среда $\sigma^2(G^*E)_{gi}$. Непосредственное использование $\sigma^2(G^*E)_{gi}$ для характеристики стабильности генотипа осложняется эффектами среды, которые «не улавливаются» этим статистическим показателем. В нашем эксперименте коэффициент корреляции между параметрами OAC_i и $\sigma^2(G^*E)_{gi}$ был близок к единице, что указывает на определяющий вклад GI в формирование различий по исследуемому признаку (табл. 4) и требует их детального анализа.

В связи с тем, что OAC_i , вариансы SAC_i , значения S_{gi} и $СЦГ_i$ существенно варьируют в зависимости от сорта, было правомерным, используя их, как исходные данные, по методике

Таблица 4. Параметры общей, специфической адаптивной способности, стабильности и селекционной ценности генотипов твердой пшеницы по содержанию белка в зерне

Генотип	Параметры адаптивности и взаимодействия GI						
	V_i (OAC _i)	$\sigma^2(G^*E)_{gi}$	σSAC_i	I_{gi}	S_{gi}	СЦГ _i	K_{gi}
X46	0,4	337,7	2,4	58,8	13,9	11,1	0,0026
B139	0,0	326,2	2,9	39,8	16,9	9,6	0,0036
B182	-0,3	313,5	3,6	24,1	21,7	7,4	0,0058
C3	0,4	338,2	3,2	33,7	18,4	9,1	0,0045
BC	-0,1	322,0	3,5	26,9	20,6	8,0	0,0053
ЖС	-0,1	320,6	2,9	36,9	17,5	9,2	0,0039
B205	-0,8	296,1	3,0	32,4	18,7	8,4	0,0041
K13	0,0	324,0	3,2	31,3	19,1	8,6	0,0046
ДЭ	-0,3	311,8	2,9	38,3	17,2	9,3	0,0036
БН	-0,5	304,2	3,0	34,8	18,1	8,8	0,0039
B209	-0,7	298,9	3,7	21,9	22,8	6,7	0,0061
B210	-0,7	300,5	3,6	23,6	22,0	7,1	0,0057
B3	-0,1	322,0	3,5	26,2	20,8	7,8	0,0055
Л25	-0,2	316,2	3,9	20,4	23,6	6,6	0,0069
Д2098	-0,1	320,1	3,2	31,1	19,1	8,6	0,0046
98с-08	-0,5	306,8	3,8	20,9	23,4	6,6	0,0065
ОИ	0,8	359,8	5,6	11,3	31,9	3,2	0,0142
Г677	0,5	345,9	4,2	20,0	23,9	6,7	0,0077
БК	0,1	329,0	3,6	25,1	21,3	7,7	0,0058
З	-0,7	296,5	3,0	33,4	18,5	8,5	0,0039
1368Д18	-0,3	311,4	2,8	40,6	16,7	9,5	0,0034
1477Д-4	-0,7	297,1	2,0	71,7	12,6	11,0	0,0018
СА	0,9	360,2	2,7	49,9	15,1	10,9	0,0032
C573	1,2	372,8	3,2	36,2	17,7	9,9	0,0046
ПЯ	0,5	345,0	2,9	40,2	16,8	9,9	0,0038
АН	0,3	337,8	2,9	39,9	16,9	9,8	0,0038
АЯ	0,2	333,6	2,7	46,1	15,7	10,2	0,0032
ОК	0,0	323,2	2,6	48,5	15,3	10,3	0,0030
ОАЗ	0,8	354,2	3,1	36,9	17,5	9,7	0,0043

Q - техники кластерного анализа, попытаться сгруппировать сорта в кластеры. В результате удалось выделить 5 кластеров с варьированием уровня корреляции от 0,814 до 1,000 (табл.5).

Первый кластер образовали 10 сортов с близкими характеристиками адаптивности, стабильности и селекционной ценности. Эти сорта заметно выделяются по средним значениям OAC_{gi}, имеют относительно низкие величины специфической адаптивной способности (σSAC_i) и стабильности (S_{gi}), что косвенно показывает на функционирование сильной генетической системы, контролирующей содержание белка в зерне и стабильно проявляющейся в фенотипе в разных средах. Этот кластер условно можно обозначить кластером «Харьковской 46». Все сорта, принадлежащие к нему, в своей родословной имеют значительную долю ген-

плазмы Харьковской 46. В свою очередь в родословную этого сорта входит линия 34-5129, созданная в Украинском НИИРСиГ (г.Харьков), от межвидового скрещивания *Triticum turgidum* / *Triticum dicocum*, которая теоретически могла нести транслокацию *Gpc* от *Tr.dicocum*. Кроме того, сорта этой группы содержат в своей генеалогии Харьковскую 51 (имеющую аналогичное происхождение с Харьковской 46), сорт «Ракета», полученный с участием генплазмы *Tr.dicocum* и местные ландрасы из Поволжья, Украины, которые также могли нести гены *Gpc*.

Второй кластер включает 5 сортов и характеризуется низким уровнем OAC_i, самым слабым взаимодействием (CAC_i) со средой и самой высокой стабильностью признака (S_{gi}). Высокая стабильность признака – основная причина довольно значительной селекционной ценно-

Таблица 5. Распределение сортов твердой пшеницы по кластерам на основе параметров адаптивности и стабильности по содержанию белка в зерне

№ кластера	Сорта, вошедшие в кластер	Варьирование коэффициента корреляции в кластере	Параметры адаптивности и стабильности в среднем по кластеру			
			OAC_i	σSAC_i	S_{gi}	$СЦГ_i$
1	Харьковская 46 Алтайский янтарь Безенчукская 139 Омский корунд Салют Алтая Памяти Янченко Алтайская нива Саратовская золотистая Оазис Солнечная 573	0,814-1,000	0,473	2,9	16,4	10,1
2	Донская элегия 1368д-18 1477д-4 Жемчужина Сибири	0,956-0,993	-0,371	2,7	16,0	9,7
3	Безенчукская 182 98с-08 Безенчукская 209 Безенчукская 210 Безенчукская золотистая Луч 25 Безенчукская степная	0,960-1,000	-0,361	3,7	22,1	7,2
4	Омский изумруд Безенч.крепость Гордеиформе 677	0,988-0,998	0,486	4,5	25,7	5,9
5	Безенчукская 205 Д2098 Золотая Безенчукская нива	0,944-0,999	-0,541	3,0	18,6	8,6
Вне кластера	Краснокутка 13	-	-0,017	3,2	19,1	8,6

сти сортов этого кластера,- второе место после первого кластера.

Сорта третьего кластера по OAC_i располагаются вблизи второго кластера. Высокий уровень специфического взаимодействия со средой (SAC_i) и низкая стабильность признака значительно снижают селекционную ценность сортов, входящих в кластер.

Четвертый кластер выделяется по OAC_i (102,8% к уровню первого кластера), но характе-

ризуется самыми сильными эффектами взаимодействия со средой и самой низкой стабильностью признака (S_{gi}). Сорта этого кластера могут иметь локальное значение при определенном сочетании внешних факторов среды.

Пятый кластер образовали сорта с низким уровнем OAC_i , что при оптимальных значениях взаимодействия со средой и среднем уровне стабильности признака снижает их селекционную ценность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований установлено, что варьирование содержания белка в зерне 29 генотипов твердой пшеницы в 9 средах на 41,9% от общей дисперсии признака в исследуемом комплексе определяется средой, на 18,6% генотипом и 38,8% взаимодействием генотип-среда. Уровень накопления белка в зерне всех сортов во всех средах был достаточным (14,0% -20,9%) и соответствовал требованиям ГОСТа. Наблюдалась значительная изменчивость признака по сортам, годам и пунктам испытания. Максимальные различия между сортами по средним значениям достигали 2,0% в абсолютном значении или 11,5% в соотношении максимального (Солнечная 573) и минимального (Безенчукская 205) уровней. Различия в конкретных средах были существеннее. Значимое превышение уровня исторического, с высоким содержанием белка в зерне сорта «Харьковская 46», среди современных сортов отмечено только для сорта «Солнечная 573». В 6-и из 9-и экспериментов наблюдалась широко известная общая закономерность отрицательной корреляции урожайности и белковости. Ослабление этой взаимосвязи было связано со специфическими условиями нивелировавшими различия между сортами по содержанию белка, или по величине урожая. Параметры адаптивности, стабильности и селекционной ценности генотипов по признаку значительно варьировали. По этим параметрам при помощи метода Q-техники кластерного анализа сорта были сгруппированы в 5 кластеров. Первый кластер сформировали сорта с высоким содержанием белка, низким уровнем взаимодействия со средой и высокой селекционной ценностью. Общей характеристикой этой группы сортов является значительная доля в их родословной сорта «Харьковская 46», его сибса «Харьковская 51», образцов *Tr.dicocum* и местных сортов. Сделано предположение, что ряд современных сортов яровой твердой пшеницы могут иметь сильные гены высокобелковости, аналогичные по своим эффектам аллелям локусов – *Gps*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sisson, M.* Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bred / M. Sisson // Food 2 (2). Global Science Books.-2008. pp.75-90.
2. *Padalino L, Mastromatteo M, Lecce L, Spinelli S, ContòFand Del Nobile M.A.* Effect of durum wheat cultivars on physico-chemical and sensory properties of spaghetti // J Sci Food Agric 94:2196–2204 (2014).
3. *Agnelo Sicignano, Rossella Di Monaco, Paolo Mais and SilvanaCavella.* From raw matterial to dish: pasta quality / Jornal of the Scince of Food and Agricuture-March 2015 DOI: 10.1002/Jsfa.7176.Source:PubMed.
4. URL: <https://www.researchgate.net/publication/273787607> (дата обращения 17.09.2017).
5. *Johnson V.A., Mattern P.J., Schmidt J.W.* Genetic advances in wheat protein quantity and composition // Proc.4th International Wheat Cenetic Symposium. Columbia, 1973. P. 547-556.
6. *Митрофанова О.П., Хакимова А.Г.* Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016; 20(4): 545-554.DOI 10.18699/VJ16/177
7. *Joppa L.R., Cantrell R.G.* Chromosom all ocation of genes for grain protein content of wild tetraploid wheat // In: Crop Science, 1990. 30(5): P.1059-1069;
8. *Joppa L.R., Du C., Hart G.E., Harland G.A.* Mapping gene(s) for grain protein in tetraploid wheat (*Triticumturgidum* L.) us inga population of recombinantin bred chromosome lines //In: Crop Science, 1997.37 (5): P.1586-1589.
9. *Deckard, E.L.,Joppa, L.R.Yammond, J.J., Harelahd, G.A.* In: *Crop Science, 1996. 36(6): P.1513-1516/*
10. *Васильчук, Н.С.* Селекция яровой твердой пшеницы / Н.С.Васильчук // Саратов, 2001. 124с.
11. *Голик, В.С.* Селекция *Triticumdurum*Desf. / В.С. Голик, Голик О.В.// Харьков: Магда ЛТД, 2008. 519 с.
12. *Долгалёв, М.П.* Адаптивная селекция яровой пшеницы в Оренбургском Приуралье / М.П.Долгалёв, В.Е.Тихонов. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. 290 с.
13. *Мальчиков, П.Н.* Селекция высокобелковистых и урожайных сортов твердой пшеницы / П.Н.Мальчиков // Достижения науки и техники АПК, 2009. № 8 С.5-9
14. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416с.
15. *Кильчевский, А.В.* Экологическая селекция растений/ А.В.Кильчевский, Л.В.Хотылева // Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.
16. *Розова М.А., Мухин В.Н.* Влияние погодных условий на содержание в зерне яровой твердой пшеницы белка, клейковины и ее качество в условиях Приобской лесостепи Алтайского края // Достижения науки и техники АПК.2015. Т. 29. № 8. С. 58-61.
17. *Бебякин, В.М.* Генотипическая обусловленность признаков качества зерна и эффективность прогнозирования отбора по ним в популяциях яровой твердой пшеницы / В.М. Бебякин, Г.В. Пискунова, Л. П. Беспятова // Цитология и генетика.1983. Т.17. №4. С. 23-28.

ACCUMULATION OF PROTEIN IN CEREAL OF DURUM WHEAT DEPENDING ON GENOTYPE AND ENVIRONMENT

© 2017 P.N. Malchikov¹, M.A. Rozova², M.G. Myasnikova¹, E.N. Shabolkina¹,
N.V. Anisimkina¹, V.I. Tsygankov³, A.I. Ziborov², I.V. Fomina⁴

¹ Samara Research Scientific Institute of Agriculture, Bezenchuk, Samara Region

² Altai Research Scientific Institute of Agriculture, Barnaul, Altai Region

³ Aktyubinsk Agricultural Experimental Station, Kazakhstan

⁴ Locked Join-Stock Company "Kurgansemena", Kurgan Region

The problem of protein content in wheat grain in connection with breeding is exacerbated by the negative relationship with the grain yield and the complexity of breeding for these two traits simultaneously. A possible way to overcome or reduce the severity of the inconsistency of these traits can be to attract "strong" genes that ensure a high protein content to the selection. These genes (*Gpc*) were found in wild flock (*Triticum dicoccoides*), quite often they occur among landrace varieties and very rarely among varieties of the period of scientific breeding, including modern varieties. In this regard, the aim of the research was to find among the varieties of different stages of breeding in Russia, stable in different conditions of the environment, accumulating a large amount of protein in the grain. The studies were carried out in 9 media localized in the regions of Russia and Kazakhstan (Aktyubinsk). 29 varieties were studied. As a result, the structure of the variant was determined, where the share of the genotype was 18.6%, environment 41.9%, genotype-environment interactions (GI) 38.8%. The parameters of adaptability, stability and breeding value of genotypes varied significantly depending on the characteristics of varieties, which became an objective basis for the application of cluster analysis. As a result, the investigated varieties were grouped into 5 clusters. The most interesting are the varieties of the first cluster, characterized by a low interaction variant in a particular environment (CACi), the stability of the trait and high parameters of general adaptability (OASi). It is assumed that the varieties of this cluster, on the pedigree of which the high-protein genotypes Kharkivska 46 and Kharkovskaya 51 contributed a great deal, *Triticum dicoccum* and local varieties can carry "strong" genes with effects similar to the alleles of the *Gpc* loci.

Keywords: hard wheat, variety, protein, genotype, environment, interaction, stability, adaptability, cluster.

Petr Malchikov, Doctor of Agricultural Science, Chief Research Fellow. E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Rosova Margarita, Candidate of Agricultural Science, Head of Laboratory of Breeding of Durum Spring Wheat.

E-mail: mrosova@yandex.ru

Marina Myasnikova, Candidate of Agricultural Science, Senior Research Fellow of Laboratory of Breeding of Durum Spring Wheat. E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Elena Shabolkina, Candidate of Agricultural Science, Head of Laboratory technological service E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Natalya Anisimkina, Engineer Technologist.

E-mail: sagrs-mal@mail.ru

Vladimir Tsygankov, Candidate of Agricultural Science, Head of Laboratory of Breeding of Spring Wheat.

Andrey Ziborov, Candidate of Agricultural Science, Senior Research Fellow of Laboratory of Breeding of Durum Spring Wheat. E-mail: mrosova@yandex.ru

Irina Fomina, Candidate of Agricultural Science, Head of Division to Breedings. E-mail: fomina@kurgansemena.ru