

СОДЕРЖАНИЕ И КАЧЕСТВО КЛЕЙКОВИНЫ У РЕКОМБИНАНТНЫХ ЛИНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С ТРАНСЛОКАЦИЕЙ *Lr19(7D)* ОТ *AGROPYRON ELONGATUM* Host. И 6Agⁱ(6D)-ХРОМОСОМОЙ ОТ *AGROPYRON INTERMEDIUM* Host.

О.В. Крупнова, А.Е. Дружин, С.А. Воронина, В.А. Крупнов

ГНУ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока,
Саратов, Россия, e-mail: raiser_saratov@mail.ru

В сеялочных посевах по черному пару в течение 6 лет изучались рекомбинантные инбредные линии яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*), отобранные из популяций от скрещивания генотипов, содержащих *Lr19(7D)*-транслокацию от *Agropyron elongatum* и 6Agⁱ(6D)-хромосому от *Agropyron intermedium*. Установлено, что эти линии по показателям ИДК-1 и SDS-объему существенно не отличаются от родительских генотипов. Однако у двух из четырех линий проявилась тенденция к снижению содержания сырой клейковины.

Ключевые слова: мягкая пшеница, почти изогенные линии, рекомбинантные инбредные линии, транслокации, содержание клейковины в муке, показатель прибора ИДК-1, SDS-объем.

Введение

Ценность пшеничного зерна в значительной степени определяется наличием в нем белков, которые называются клейковинными белками. Почти три века продолжается изучение состава клейковины, ее физических и химических свойств, влияния на нее различных факторов. В начале 20-го века было установлено, что в семенах некоторых дикорастущих злаков клейковины больше, чем в пшенице. Так, у пырея промежуточного (*Agropyron intermedium* Host.) содержание клейковины достигает 52,5 %, а пырея удлиненного (*Agropyron elongatum* Host.) – 68,8 % (Козьмина, Кретович, 1950), и оба они используются в качестве доноров для расширения генетической изменчивости в зародышевой плазме мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) по устойчивости к бурой листовой ржавчине, мучнистой росе и другим патогенам, а также по содержанию белка в зерне и другим признакам качества (Sharma, Knott, 1966; Синиговец, 1988; Крупнов, Сибикеев, 2005; Cao *et al.*, 2007; Garg *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009).

В настоящее время широкое распространение получили сорта мягкой пшеницы, содержа-

щие *1BL.1RS*-транслокацию от озимой ржи, а также *Lr19*-транслокацию от пырея удлиненно-го. В целях защиты от паразитов и повышения адаптивности к непрерывно изменяющимся условиям внешней среды создаются принципиально новые генотипы мягкой пшеницы, которые содержат транслокации не от одного, а от двух разных видов сородичей. В связи с этим большое теоретическое и практическое значение имеет изучение эффектов воздействий этих транслокаций на самые различные признаки мягкой пшеницы, включая качество зерна. Ранее нами были опубликованы результаты изучения влияния взаимодействия *Lr19*-транслокации (в хромосоме 7D) от пырея удлиненно-го (*Agropyron elongatum* Host.) и 6Agⁱ(6D)-хромосомы от пырея промежуточного (*Agropyron intermedium* Host. *Elymus tsukushiensis* Honda) на урожайность зерна и содержание в нем белка у мягкой пшеницы (Крупнов и др., 2010). Учитывая, что гены, кодирующие клейковинные белки, локализованы в гомеологичных хромосомах группы 1 (в 1A, 1B, 1D – глиадины и глютенины) и в хромосомах группы 6 (в 6A, 6B, 6D – глиадины) (McIntosh *et al.*, 2008), интересно изучить эффекты названных пырейных

транслокаций в отдельности и в сочетании на содержание клейковины и качество зерна яровой мягкой пшеницы.

В нашей стране требованиями ГОСТ предусматривается обязательная оценка зерна по содержанию клейковины и ее упруго-вязким свойствам на приборе ИДК-1, параметры этих признаков являются одними из главных критериев цены на зерно пшеницы (Мелешкина, 2009).

В настоящей работе сообщаются результаты изучения эффектов взаимодействия *Lr19*-транслокации от *Agropyron elongatum* Host. и 6Agⁱ(6D)-хромосомы от *Agropyron intermedium* Host. на содержание клейковины и ее качество у яровой мягкой пшеницы.

Материал и методы

Материал включает 10 генотипов (табл. 1). Линии Л1089 и Л2032 содержат *Lr19*-транслокацию от *Ag. elongatum* (в хромосоме 7D). Л359S и Л359R – почти изогенные линии, различающиеся по *Lr19*-транслокации, а Л400S и Л400R – почти изогенные линии, различающиеся по 6Agⁱ(6D)-хромосоме от *Ag. intermedium*. Л204 и Л205 происходят от скрещивания линий Л400R/Л1089. Линии Л204 и Л205 – почти изогенные линии, различающиеся по окраске зерна, у первой оно красное, у второй – белое, обе они содержат *Lr19*-транслокацию от *Ag. elongatum* и 6Agⁱ(6D)-хромосому от *Ag. intermedium*. Л204 и Л205 устойчивы к местной популяции листовой ржавчины (*Puccinia triticina* Eriksson (прежнее название *Puccinia recondita* f. sp. *tritici*). Устойчивость к этому патогену они унаследовали от линии Л400R. Мука у Л204 и Л205 так же, как и у Л1089, желтая (результат сцепления гена *Yf* с геном *Lr19*). Рекомбинантные линии Л396 и Л108 происходят от скрещивания Л2032/Л400R и содержат 6Agⁱ(6D)-хромосому от *Ag. intermedium*. Мука у Л396 и Л108 так же, как у Л400R, белая. Обе они также устойчивы к саратовской популяции листовой ржавчины, тогда как Л1089, Л2032 и Л400S – восприимчивы (Сибикеев, Крупнов, 2007).

Материал высевали сеялкой ССФК-7, деланки семирядковые, площадь 7 м². Повторность четырехкратная. Норма высева семян из расчета 400 шт. на 1 м². Уход за посевом включал

опрыскивание растений гербицидами против сорняков и рыхление дорожек между деланками. Предшественник яровой мягкой пшеницы – черный пар, позволяющий без внесения удобрений обеспечивать получение относительно высокого уровня содержания белка в зерне.

Содержание сырой клейковины определяли в соответствии с руководством (Методические рекомендации ..., 1977). Определение качества сырой клейковины производили на приборе ИДК-1, анализ SDS-объема – в модификации по методике Бебякина и Бунтиной (1991).

Условия произрастания яровой мягкой пшеницы отражены в публикации (Крупнов и др., 2010). Для формирования урожая зерна наиболее благоприятным был 2003 год. В 2004 г. засушливой была первая половина вегетации (до колошения), а в 2005 г., наоборот, вторая половина вегетации, тем не менее, в оба сезона восприимчивые генотипы пострадали от эпифитотии листовой ржавчины. 2006 год характеризуется как среднезасушливый, в период от колошения до созревания температурный режим был повышенным, в отдельные дни температура достигала 30 °С. В 2007 г. сумма температур была выше, а количество осадков ниже многолетней нормы. В 2008 г. первая половина вегетации протекала в условиях сильной засухи, и у многих растений кушение практически отсутствовало. В начале колошения (23 июня) выпало осадков 50,3 мм, что выше нормы, в результате создались условия для образования новых продуктивных побегов. Таким образом, годы исследований являются контрастными как по водному и температурному режимам, так и по влиянию биострессоров, прежде всего, листовой ржавчины.

Полученные данные подвергли дисперсионному анализу с последующим множественным сравнением по тесту Дункана с использованием программы «AGROS-10,2».

Результаты

Ранее нами (Крупнов и др., 2010) было показано значимое влияние *Lr*-транслокаций и их сочетаний на урожайность зерна, содержание белка в муке и валовой сбор белка с единицы площади у вышеперечисленных линий. При этом было установлено, что у рекомбинантов

Таблица 1

Содержание сырой клейковины, показатель ИДК-1 и SDS-объем
у линий яровой мягкой пшеницы в период 2003–2008 гг.

Линия	Годы						Среднее
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Содержание сырой клейковины, %							
Л359S	37	37	36	41	50	43	40,67b
Л359R <i>Lr19</i>	38	38	38	41	44	46	40,83b
Л400S	34	35	34	41	47	38	38,17ab
Л400R, 6Ag ⁱ (6D)	36	36	40	41	49	39	40,17b
Л2032, <i>Lr19</i>	35	36	36	41	45	48	40,17b
Л1089, <i>Lr19</i>	38	36	38	42	50	45	41,50b
Л204, <i>Lr19</i> + 6Ag ⁱ (6D)	30	40	38	42	51	37	39,67b
Л205, <i>Lr19</i> + 6Ag ⁱ (6D)	35	37	37	42	52	38	40,17b
Л396, 6Ag ⁱ (6D)	34	36	37	41	41	39	38,00ab
Л108, 6Ag ⁱ (6D)	34	38	35	36	39	35	36,17a
F _{факт.}	1,76*	3,12*	18,08*	1,90	3,00*	11,48*	2,148*
HCP ₀₅	3,37	2,54	1,38	NS	4,03	3,5	3,14
Показатель ИДК-1, ед. п.							
Л359S	82	76	79	77	90	103	84,50cd
Л359R <i>Lr19</i>	81	72	75	77	83	97	80,83abcd
Л400S	83	81	79	82	89	101	85,83d
Л400R, 6Ag ⁱ (6D)	83	74	76	80	87	97	82,83bcd
Л2032, <i>Lr19</i>	81	70	60	74	81	92	76,33ab
Л1089, <i>Lr19</i>	68	69	68	74	85	91	75,83a
Л204, <i>Lr19</i> + 6Ag ⁱ (6D)	73	79	68	83	95	84	80,33abcd
Л205, <i>Lr19</i> + 6Ag ⁱ (6D)	77	72	64	82	93	85	78,83abc
Л396, 6Ag ⁱ (6D)	86	79	75	85	78	88	81,83abcd
Л108, 6Ag ⁱ (6D)	80	65	80	83	80	95	80,50abcd
F _{факт.}	4,89*	3,45*	10,9*	3,69*	5,17*	3,85*	2,381*
HCP ₀₅	3,9	6,5	3,6	5,9	5,1	7,30	5,91
SDS-объем, мл							
Л359S	89	83	92	94	84	79	86,83b
Л359R <i>Lr19</i>	89	90	90	94	86	83	88,67b
Л400S	88	84	87	93	77	77	84,33ab
Л400R, 6Ag ⁱ (6D)	93	90	94	93	87	77	89,00b
Л2032, <i>Lr19</i>	93	90	80	90	82	92	87,83b
Л1089, <i>Lr19</i>	92	92	90	89	90	89	90,33b
Л204, <i>Lr19</i> + 6Ag ⁱ (6D)	88	92	90	88	84	75	86,17b
Л205, <i>Lr19</i> + 6Ag ⁱ (6D)	90	90	90	88	80	75	85,50ab
Л396, 6Ag ⁱ (6D)	67	90	90	78	80	71	79,33a
Л108, 6Ag ⁱ (6D)	93	90	88	80	90	71	85,33ab
F _{факт.}	2,78*	6,76*	8,62*	6,43*	26,21*	2,83*	2,25*
HCP ₀₅	8,02	6,69	4,83	7,68	4,09	10,12	5,84

* Цифры в колонке, сопровождаемые разными буквами, значимо различаются при вероятности 95 % множественных сравнений по тесту Дункана.

в среднем за 5 лет содержание белка в муке значимо ниже, чем у родительских генотипов, без значимого снижения урожая белка (Крупнов и др., 2010).

Результаты изучения содержания клейковины и ее качества у этих линий приведены в табл. 1. Данные табл. 1 свидетельствуют о достоверном влиянии как генотипа, так и года на величины всех трех признаков качества зерна.

Содержание клейковины. В среднем по набору генотипов во все годы исследований оно отвечало самым высоким требованиям российского рынка. Этот показатель в 2007 г. находился на первом месте, в 2006 и 2008 гг. – на втором и 2004, 2005 и 2003 гг. – на третьем. В среднем за 6 лет самое высокое содержание клейковины показали линии Л1089, Л400R и Л2032, а самое низкое – линии Л396 и Л108. У Л204 и Л205, полученных от скрещивания Л400R/Л1089, содержание клейковины было выше, чем у Л396 и Л108, выделенных из популяции от скрещивания Л2032/Л400R. Следует отметить, что линии Л204 и Л205 выделяются также среди других генотипов по варьированию содержания клейковины по годам. В конечном результате по содержанию клейковины в среднем за 6 лет линия Л108 достоверно уступила своим родителям, а у Л396 проявилась тенденция к этому. В условиях эпифитотии листовой ржавчины в 2004 и 2005 гг. сезоны линии Л359R и Л400R, содержащие *Lr*-транслокации, значимо превысили своих почти изогенных сибов. Однако сочетание *Lr19*-транслокации и 6Agⁱ(6D)-хромосомы в линиях Л204 и Л205 не показало значимого аддитивного эффекта на содержание клейковины. Еще слабее эффект Lr6Agⁱ(6D)-хромосомы проявился в линиях Л396 и Л108 по сравнению с линией Л400R.

Показатели качества клейковины, полученные с использованием прибора ИДК-1. Прежде чем оценивать качества клейковины по данным прибора ИДК-1 и SDS-анализа, необходимо отметить следующее. По современным рекомендациям ГНУ ВНИИЗ, оптимальным качеством клейковины для хлебопечения считается показатель 70–90 единиц (прибор ИДК-1) (Мелешкина, 2009). Как видно из табл. 1 во все годы исследований за исключением 2008 г. все сорта и линии отвечали этому требованию (табл. 1). Однако наилучшие показатели

по упругости клейковины наблюдались в 2004 и 2005 гг., затем в 2003 и 2006 гг., а самые низкие показатели упругости – в 2007 и 2008 гг. В 2008 г. лишь у двух генотипов Л359S и Л400S, показатели качества клейковины (прибор ИДК-1) значимо превысили 100 ед. Таким образом, изучение реологических свойств зерна с помощью прибора ИДК-1 свидетельствует о том, что сочетание в генофоне яровой мягкой пшеницы *Lr19*-транслокации от пырея удлиненного и 6Agⁱ(6D)-хромосомы от пырея промежуточного не оказывает отрицательного влияния на такой признак, как упругость теста.

SDS-объем. В отличие от показателей качества клейковины, определяемого прибором ИДК-1, в методе SDS-седиментации лучшими считаются самые высокие показатели, т. е. чем выше SDS-объем, тем выше качество зерна для хлебопечения и изготовления лапши, макарон и других продуктов. По величине седиментационного осадка наивысшие показатели наблюдались у изучаемых линий в 2003, 2004, 2005, 2006 гг., а наименьшие – в 2008 г. Все линии имели высокие показатели SDS-объема и могут быть охарактеризованы как высококачественные по этому признаку. Самое высокое варьирование признака по годам наблюдается у линии Л396, а самое низкое – у Л2032 и Л1089. В среднем за 6 лет самый высокий SDS-объем отмечен у линии Л1089, а самый низкий – у Л396, все остальные линии занимают промежуточное положение.

Обсуждение

В литературе нам не удалось найти информации о влиянии сочетания пырейных транслокаций на содержание клейковины и ее реологические свойства, хотя известно, что различные виды пырея являются донорами новых аллелей глютенина, значимо влияющих на качество зерна пшеницы (Сао *et al.*, 2007; Garg *et al.*, 2009) и что пырейные транслокации могут влиять на фракционный состав запасных белков (Филатова и др., 2010). Наши данные по «эффекту года» и *Lr*-транслокаций от *Agropyron intermedium* в генофонде яровой мягкой пшеницы на SDS-объем согласуются с результатами, полученными в Самарском НИИСХ, где, как и в Саратове, в 2004 г. SDS-объем был выше, чем в 2008 г. (Филатова и др., 2010).

Известно, что в большинстве случаев прослеживается отрицательная корреляция между показателями прибора ИДК-1 и взятым в анализ SDS-объемом (Бебякин, Бунтина, 1991; Крупнова, 1997; Бебякин и др., 2005). Аналогичная картина наблюдается и у использованного нами набора из 10 генотипов, что особенно четко проявилось в 2004, 2005 и 2008 гг. Эти данные указывают на то, что в совокупности эти два метода (анализ ИДК-1 и SDS-объема) с разных сторон характеризуют реологические свойства клейковины. Установлено, что SDS-объем коррелирует с содержанием высокомолекулярных глютеинов, в особенности с 5-й и 10-й субъединицами в локусе Glu-D1 (Yahata *et al.*, 2006).

Заключение

Изучены в сеялочных посевах по черному пару в течение 6 лет почти изогенные линии и рекомбинантные инбредные линии яровой мягкой пшеницы, отобранные из популяций от скрещивания генотипов, содержащих *Lr19*-транслокацию от *Agropyron elongatum* и 6Agⁱ(6D)-хромосому от *Agropyron intermedium*. Установлено, что эти линии по показателям ИДК-1 и SDS-объему существенно не отличаются от родительских генотипов. Однако у 2 из 4 рекомбинантных линий проявилась тенденция к снижению содержания клейковины.

Литература

- Бебякин В.М., Бунтина М.В. Эффективность оценки качества зерна яровой мягкой пшеницы по SDS-тесту // Вестн. с.-х. наук. 1991. № 1. С. 66–70.
- Бебякин В.М., Крупнова О.В., Сергеева А.И. Сбалансированность показателей качества зерна озимой пшеницы и их информативность // Матер. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию Вятской с.-х. опытной станции (Зональной НИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого). Киров, 2005. Т. 1. С. 193–196.
- Козьмина Н.П., Кретович В.Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Заготиздат, 1950. 359 с.
- Крупнов В.А., Сибикеев С.Н. Чужеродные гены для улучшения мягкой пшеницы // Идентифицированный генофонд растений и селекция / Под ред. Б.В. Ригина, Е.И. Гаевской. СПб: ВИР, 2005. С. 740–758.
- Крупнов В.А., Сибикеев С.Н., Крупнова О.В. и др. Эффекты взаимодействия транслокаций от пырея удлиненного и пырея промежуточного в генофоне мягкой пшеницы // Аграрный вестн. Юго-Востока. 2010. № 1(4). С. 11–14.
- Крупнова О.В. Методические аспекты седиментационной оценки и отбора высококачественных генотипов яровой мягкой пшеницы в Поволжье: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 1997. 19 с.
- Методические рекомендации по оценке качества зерна. М., 1977.
- Мелешкина Е.П. Современные аспекты качества зерна пшеницы // Аграрный вестн. Юго-Востока. 2009. № 3. С. 4–7.
- Сибикеев С.Н., Крупнов В.А. Эволюция листовой ржавчины и защита от нее пшеницы в Поволжье // Вестн. госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2007. Спецвыпуск. С. 92–94.
- Синиговец М.Е. Цитогенетические основы использования пырея в селекции пшеницы: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Киев, 1988. 49 с.
- Филатова Е.В., Сюков В.В., Анискина Н.В. Влияние пырейной транслокации T-5 на фракционный состав белка яровой мягкой пшеницы // Аграрный вестн. Юго-Востока. 2010. № 1 (4). С. 15–17.
- Cao S., Xu H., Li Z. *et al.* Identification and characterization of a novel *Ag. intermedium* HMW-GS gene from *T. aestivum*-*Ag. intermedium* addition lines TAI-I series // J. Cereal Sci. 2007. V. 45. P. 293–301.
- Garg M., Tanaka H., Ishikawa N. *et al.* *Agropyron elongatum* HMW-glutenins have a potential to improve wheat end-product quality through targeted chromosome introgression // J. Cereal Sci. 2009. V. 50. P. 358–363.
- McIntosh R.A., Yamazaki Y., Dubcovsky J. *et al.* Catalogue of gene symbols for wheat. 2008. <http://www.grs.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/>.
- Sharma D., Knott D.R. The transfer of leaf rust resistance from *Agropyron* to *Triticum* by irradiation // Can. J. Genet. Cytol. 1966. V. 8. P. 137–143.
- Yahata E., Wakako M.F., Zenta N. *et al.* Relationship between the dough quality and content of specific glutenin proteins in wheat mill streams, and its application to making flour suitable for instant Chinese noodles // Biosci. Biotechnol. Biochem. 2006. V. 70. P. 788–797.
- Zhang Z., Lin Z., Xin Z. Research progress in BYDV resistance genes derived from wheat and its wild relatives // J. Genet. Genomics. 2009. V. 36. P. 567–573.

**GLUTEN CONTENT AND QUALITY IN COMMON WHEAT
WITH TRANSLOCATIONS FROM *AGROPYRON ELONGATUM* HOST.
AND *AGROPYRON INTERMEDIUM* HOST.**

O.V. Krupnova, A.E. Druzhin, S.A. Voronina, V.A. Krupnov

Agricultural Research Institute for South-East Regions, Saratov, Russia,
e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Summary

Recombinant inbred lines of common wheat (*Triticum aestivum*) selected from crosses between genotypes carrying *Lr19*-translocation from *Agropyron elongatum* and *6Agi(6D)*-chromosome from *Agropyron intermedium* were studied in drill sowing on black fallow for 6 years. It was found that these lines did not differ significantly from the parental genotypes in gluten deformation index or SDS-volume. However, gluten content tended to decrease in two of four lines.

Key words: common wheat, near-isolines, recombinant inbred lines, translocation, gluten content, gluten deformation index, SDS-volume.