

УДК 631.524.633.1

ИЗУЧЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ И АДАПТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ У ЛИНИЙ СОРТА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ОМСКАЯ 37, НЕСУЩИХ ТРАНСЛОКАЦИИ 1RS.1BL И 7DL-7Ai

© 2012 г. И.А. Белан¹, Л.П. Россеева¹, В.М. Россеев¹, Е.Д. Бадаева²,
Ю.И. Зеленский³, Н.П. Блохина¹, С.С. Шепелев¹, Л.А. Першина^{4,5}

¹ Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии,
Омск, Россия, e-mail: belan_skg@mail.ru;

² Учреждение Российской академии наук Институт молекулярной биологии
им. В.А. Энгельгардта Российской академии наук, Москва, Россия;

³ Представительство СИММИТ, Астана, Республика Казахстан;

⁴ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, Россия, e-mail: pershina@bionet.nsc.ru;

⁵ Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

Поступила в редакцию 5 декабря 2011 г. Принята к публикации 14 декабря 2011 г.

Изучены перспективные линии яровой мягкой пшеницы, выделенные из сорта Омская 37 и несущие пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL. Проведена оценка линий по устойчивости к грибным патогенам, засухе, урожайности, параметрам экологической пластичности, стабильности и гомеостатичности. Проведено изучение трех линий с использованием С-окрашивания хромосом. Установлено, что эти линии, кроме пшенично-ржаной транслокации 1RS.1BL, несут и пшенично-пырейную транслокацию 7DL-7Ai, в которой сегмент хромосомы 7Ai принадлежит *Agropyron elongatum* (Host) Beauv (= *Thinopyrum elongatum*; = *Thinopyrum ponticum*). Сделано заключение о том, что комплексная устойчивость сорта Омская 37 и его перспективных линий обусловлена влиянием кластера генов, локализованных на сегментах хромосом ржи и пырея, включенных в состав соответствующих пшенично-чужеродных транслокаций. Выделены наиболее перспективные линии, рекомендованные для дальнейшего использования в селекции. Одна из изученных линий – Лютесценс 242/97-2-10 – передана на Государственное сортоиспытание в качестве сорта яровой мягкой пшеницы Омская 41.

Ключевые слова: линии яровой мягкой пшеницы Омская 37, хозяйственно ценные признаки, 1RS.1BL, 7DL-7Ai.

Введение

Мягкая пшеница является одной из наиболее важных продовольственных культур во всем мире. Большие потери урожая пшеницы во многом определяются поражением растений грибными патогенами. В последние годы, наряду с распространением патогенов мучнистой росы (*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*), бурой ржавчины (*Puccinia triticina* f. sp. *tritici*), желтой ржавчины (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*), возросла угроза проявления эпифитотий стеблевой ржавчины

(*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*). При этом наибольшую опасность представляют ее новые вирулентные расы, включая Ug99, впервые зафиксированную в 1999 г. в Уганде (Pretorius, Park, 2008).

В связи с этим создание сортов пшеницы с комплексной устойчивостью к грибным патогенам остается одним из наиболее приоритетных направлений генетики и селекции. С 2009 г. по 10-му региону Российской Федерации в Государственный реестр селекционных достижений включен сорт яровой мягкой пшеницы

селекции СибНИИСХ Омская 37 (Бойко и др., 2009), характеризующийся устойчивостью к грибным патогенам. В геноме сорта Омская 37 выявлена пшенично-ржаная транслокация 1RS.1BL (Трубачеева и др., 2011).

Сорта, несущие эту транслокацию, широко распространены во всем мире (Rabinovich, 1998; Schlegel, 2011). Это связано с тем, что короткое плечо хромосомы ржи 1RS, входящее в состав транслокации, несет гены, контролирующие устойчивость растений к грибным патогенам: бурой ржавчине (*Lr26*), стеблевой ржавчине (*Sr31*), желтой ржавчине (*Yr9*) и мучнистой росе (*Pm8*) (Singh *et al.*, 1990). Между тем эффект гена *Pm8* (Singrun *et al.*, 2004), проявление засухоустойчивости и уровень урожайности у сортов с транслокацией 1RS.1BL определяются генотипической средой пшеницы (Hoffmann, 2008). Присутствие транслокации 1RS.1BL может обуславливать и низкие хлебопекарные свойства за счет снижения качества клейковины и объема хлеба (Monneveux *et al.*, 2003). С 1999 г. сорта с транслокацией 1RS.1BL, длительное время защищенные от стеблевой ржавчины функционированием гена *Sr31*, так же, как и сорта с рядом других ранее эффективных генов устойчивости к этому патогену, стали поражаться агрессивной расой стеблевой ржавчины Ug99 (Pretorius *et al.*, 2000).

Что касается сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, то для него характерна устойчивость к мучнистой росе, бурой ржавчине (Россева и др., 2008; Morgounov *et al.*, 2011), стеблевой ржавчине, в том числе и к расе Ug99 (Шаманин и др., 2010). Комплексная устойчивость этого сорта к грибным патогенам сочетается с высокой урожайностью и способностью формировать высококачественное зерно (Абугалиева и др., 2010). Эти качества сорта Омская 37 позволили включить его во многие селекционные программы, в том числе в питомники KSBN (Казахстанско-Сибирский питомник челночной селекции) и HLWSN (питомники пшеницы для стран, расположенных в условиях высоких широт). Учитывая такие особенности сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, можно предположить, что этот сорт, помимо кластера генов, локализованных на коротком плече хромосомы ржи 1RS, несет и другие гены, контролирующие устойчивость к грибным патогенам.

Предыдущие исследования показали, что сорт Омская 37 гетерогенен. Это позволило в результате последовательного отбора по хозяйственно ценным признакам выделить из него серию линий, различающихся между собой по проявлению ряда признаков (Белан и др., 2010).

В данной работе была поставлена задача – провести подробное изучение ряда этих линий по устойчивости к грибным патогенам, засухе, урожайности, параметрам экологической пластичности, стабильности и гомеостатичности. Это выполнено с целью выявления наиболее перспективных линий, которые можно использовать в дальнейшем селекционном процессе. Кроме того, в задачу работы входило изучение наиболее ценных линий с применением С-окрашивания хромосомом.

Материалы и методы

В исследования было включено 9 линий, у которых было лучшее проявление ряда хозяйственно ценных признаков, из 20 ранее изученных линий сорта Омская 37, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL (Белан и др., 2010). Сорт яровой мягкой пшеницы Омская 37 создан в результате ступенчатой гибридизации с привлечением экологически отдаленных форм, включая сорт Кавказ, источник пшенично-ржаной транслокации 1RS.1BL (Трубачеева и др., 2011). Обозначение линий, использованных в работе: Лютесценс (Л).242/97-2-10, Л.242/97-2-13, Л.242/97-2-22, Л. 242/97-2-27, Л.242/97-2-31, Л.242/97-2-32, Л. 242/97-2-35, Л.242/97-2-40, Л.242/97-2-45. В качестве контроля (стандарта) были использованы сорта яровой мягкой пшеницы Омская 29 и Омская 35.

Исследования проведены на полях ГНУ СибНИИСХ (южная лесостепь) в 2006–2010 гг. Метеорологические условия за годы проведения опытов были различны по тепло- и влагообеспеченности. Так, условия 2007 и 2009 гг. были наиболее благоприятными для произрастания пшеницы; 2006 г. оказался относительно засушливым в первой половине, а 2008 г. – во второй половине вегетации. Посев проведен селекционной сеялкой ССФК-7М; площадь делянок – 5–10 м², повторность – 2–4-кратная. В качестве стандартов использованы среднеспелый сорт Омская 29 и среднепоздний

сорт Омская 35. Уборка проведена комбайном «Хеге-125».

Фенологические наблюдения и учеты проведены в соответствии с «Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (1985). Селекционные линии и сорта оценивались на устойчивость к патогенам бурой ржавчины (*Puccinia triticina*) в стадии проростков и взрослых растений. При изучении устойчивости к возбудителю бурой ржавчины в стадии проростков использовался бензимидазольный метод (Михайлова, Квитко, 1970) при оценке типа устойчивости по шкале Майнса и Джексона (Mains, Jackson, 1926). Эксперимент проводили в климокамере Биотрон 4. В полевых условиях СибНИИСХ степень поражения растений патогенами мучнистой росы *Blumeria graminis*, бурой ржавчины *Puccinia triticina* и стеблевой ржавчины *Puccinia graminis* оценивали по международной шкале (Зыкин и др., 2004). Кроме того, в 2008 и 2009 гг. оценка линий на устойчивость к стеблевой ржавчине (основной патотип ТТКСТ (Ug99+Sr24)), была проведена при выращивании растений с июня по октябрь и с ноября по март в международном питомнике в Кении по модифицированной шкале Cobb (Peterson *et al.*, 1948). Эта работа была выполнена в сотрудничестве с Международным центром по улучшению кукурузы и пшеницы (СІММУТ).

При изучении устойчивости линий к засухе использована модифицированная методика тестирования пшеницы *in vitro* (Россеев и др., 2010). Параметры стабильности и экологической пластичности рассчитаны по методу, предложенному Эберхардом и Расселом (Зыкин и др., 2004), а показатель гомеостатичности (Ном) – по методу В.В. Хангильдина (1976). Статистическую обработку данных выполняли с использованием табличного процессора Microsoft Excel по учебному пособию (Макарова, Трофимец, 2003).

Получение хромосомных препаратов и С-окрашивание хромосом проведено в соответствии с методикой (Badaeva *et al.*, 1994), хромосомы классифицировали по стандартной номенклатуре.

Результаты

Результаты 4-летнего изучения (2006–2009 гг.) показали, что по продолжительности вегетаци-

онного периода линии относятся к двум группам спелости: среднеспелой (Л.242/97-2-22, Л.242/97-2-27, Л.242/97-2-45) и среднепоздней (Л.242/97-2-10, Л.242/97-2-13, Л.242/97-2-31, Л.242/97-2-32, Л.242/97-2-35, Л.242/97-2-40).

Изучение устойчивости линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 к грибным патогенам. Изучение устойчивости сортов и селекционных линий к грибным патогенам в полевых условиях Омска показало, что 2006 и 2008 гг. были неблагоприятны для развития ржавчинных заболеваний. В 2007 г. было отмечено сильное распространение бурой ржавчины, а в 2009 г. пшеница была поражена одновременно как бурой, так и стеблевой ржавчиной. Для возбудителя мучнистой росы все годы изучения были благоприятны. В табл. 1 приведены результаты оценки различных листовых заболеваний у изучаемых генотипов в годы их максимального проявления. Линии сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 характеризуются полевой устойчивостью к патогену мучнистой росы. Так, степень поражения линий варьировала от 5 % (Л.247/97-2-31) до 30 % (Л.247/97-2-45), а у стандартов от 50 % (Омская 35) до 70 % (Омская 29).

Сорта-стандарты были восприимчивы и к возбудителям ржавчинных заболеваний, независимо от вида ржавчины и пункта изучения. Что касается линий сорта Омская 37, то их оценки к возбудителю бурой ржавчины как в фазе проростков, так и в фазе колошения свидетельствуют об их высокой устойчивости к этому патогену в течение онтогенеза (табл. 1).

Так, в фазе проростков 7 из 9 изученных линий не поражались возбудителем бурой ржавчины, а две линии проявили умеренную устойчивость. В полевых условиях степень поражения изученных линий сорта Омская 37 варьировала от 5 до 10 %, степень поражения сорта Омская 35 составила 60 %, сорта Омская 29 – 70 %. Высокую полевую устойчивость к популяции стеблевой ржавчины при выращивании на опытном поле СибНИИСХ проявили все 6 изученных линий. Степень их поражения составляла лишь 5 %, в то время как у сортов-стандартов Омская 29 и Омская 35 этот показатель равнялся 70 и 80 % соответственно.

В условиях Кении на специализированном инфекционном фоне стеблевой ржавчины

Таблица 1
Характеристика перспективных линий сорта Омская 37 по устойчивости к грибным патогенам

Сорт, линия	Поражение патогенами, % и балл				Мучнистая роса
	Ржавчины				
	бурая		стеблевая		
	Омск, поле*	климокамера**	Омск, поле*	Кения***	Омск, поле*
Среднеспелые					
Омская 29 (стандарт)	70	4	70	70S	80
Л.247/97-2-22	10	0	–	–	10
Л.247/97-2-27	5–10	2	5	5MR	25
Л.247/97-2-45	5	0	5	5 MR	30
Среднепоздние					
Омская 35 (стандарт)	60	4	80	80S	50
Л.247/97-2-10	5	0	5	5 MR	25
Л.247/97-2-13	5	0	–	–	15
Л.247/97-2-31	5	0	5	5 MR	5
Л.247/97-2-32	10	2	5	R	25
Л.247/97-2-35	5	0	5	R	15
Л.247/97-2-40	5	0	–	–	10

Примечание. Разница по сравнению с сортом яровой мягкой пшеницы Омская 35 достоверно больше при * $P < 0,05$. – Линии не изучались. * % – степень поражения (Зыкин и др., 2004); ** оценка в баллах: 0 – иммунный; 1 – высокоустойчивый; 2 – среднеустойчивый; 3 – средневосприимчивый; 4 – сильновосприимчивый по шкале Майнса и Джексона (Mains, Jackson, 1926); *** 5, 15, 40 и т. д. – 5, 10, 30 % пораженных растений и т. д. по шкале Cobb (Peterson et al., 1948). R – устойчивый, MR – умеренно устойчивый, MS – умеренно восприимчивый, S – восприимчивый.

(основной патотип TTKST) четыре линии (среднеспелые Л.247/97-2-27, Л.247/97-2-45 и среднепоздние Л.247/97-2-10, Л.247/97-2-31) проявили умеренную устойчивость к этому патогену, а две среднепоздние Л.247/97-2-32 и Л.247/97-2-35 были устойчивы (табл. 1).

Изучение линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 с применением С-окрашивания хромосом. В эту часть работы были включены среднеспелая линия Л.242/97-2-45 и две среднепоздние линии Л.247/97-2-10, Л.242/97-2-35. Результаты проведенного анализа показали, что эти линии несут как пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL, так и пшенично-пырейную транслокацию 7DL-7Ai, в которой сегмент хромосомы 7Ai принадлежит *Agropyron elongatum* (= *Thinopyrum ponticum*, = *Thinopyrum elongatum*) ($2n = 10x = 70$) (рис.).

Изучение линий сорта мягкой пшеницы Омская 37 по устойчивости к полеганию и урожайности. Оценку линий по устойчивости

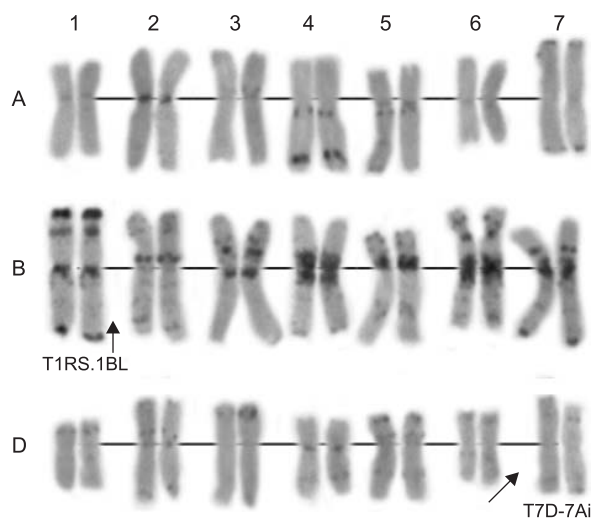


Рис. Результат С-окрашивания хромосом линии Л.247/97-2-10, выделенной из сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37.

Стрелками указаны пшенично-чужеродные транслокации (Т): пшенично-ржаная Т1RS.1BL и пшенично-пырейная Т7D-7Ai.

к полеганию наиболее объективно удалось провести в условиях 2009 г., характеризовавшегося избыточной влагообеспеченностью в период вегетации пшеницы. Сорга-стандарты Омская 29 (среднеспелая группа) и Омская 35 (среднепоздняя группа) по устойчивости к полеганию оценены на 4 балла. По сравнению со стандартами среднеспелая линия Л.242/97-2-27 и среднепоздняя линия Л.242/97-2-10 имели максимальный балл, 5, что указывает на их высокую устойчивость к полеганию.

Показатели урожайности у всех линий изменялись по годам, при этом наиболее высокой и стабильной урожайностью характеризовалась среднепоздняя линия Л.242/97-2-10, у которой среднее значение показателя урожайности было достоверно выше, чем у стандарта – сорта Омская 35 (табл. 2). Известно, что высокая и стабильная урожайность может проявляться при сочетании в генотипе высокой потенциальной продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам среды (Зыкин и др., 2004). Адаптивные свойства сортов отражают такие показатели, как экологическая пластичность, стабильность и гомеостатичность, которые необходимо оценивать наряду с показателями продуктивности (Зыкин и др., 2004; Бебякин и др., 2005).

На основании результатов, полученных при расчете параметров экологической пластичности, стабильности и гомеостатичности, выделены две линии: в группе среднеспелых – линия Л.242/97-2-45, а в группе среднепоздних – линия Л.242/97-2-10. Эти линии по показателям изученных параметров характеризуются высокой степенью адаптивности (табл. 2). Так, значение коэффициента линейной регрессии b_i , по которому оценивается пластичность, у этих линий было выше единицы ($b_i > 1$). Это указывает на хорошую отзывчивость линий Л.242/97-2-45 и Л.242/97-2-10 при улучшении условий выращивания. Эти линии характеризуются и высоким уровнем стабильности урожайности в различных условиях выращивания. На это указывают показатели стабильности, оказавшиеся близкими к нулю: для линий Л.242/97-2-45 – $\sigma_d^2 = 0,1$ и Л.242/97-2-10 – $\sigma_d^2 = 0,4$.

Другой показатель (гомеостатичность, Hom), отражающий стабильность урожайности за счет слабого реагирования на ухудшение условий, оказался выше у линий Л.242/97-2-45

Таблица 2

Характеристика перспективных линий сорта Омская 37 по показателям урожайности, гомеостатичности (Hom), экологической пластичности (b_i) и стабильности (σ_d^2)

Сорт, линия	Параметры			
	Урожайность, т/га, Омск	Hom	b_i	σ_d^2
Омская 29	2,83	1,05	0,82	0,07
Л. 247/97-2-22	3,02	0,98	0,97	0,02
Л. 247/97-2-27	3,37	0,57	0,91	0,03
Л. 247/97-2-45	3,49	1,32	1,25	0,01
Омская 35	2,98	1,01	0,74	0,06
Л. 247/97-2-10	3,67*	1,51	1,21	0,04
Л. 247/97-2-31	3,30	1,49	0,62	0,16
Л. 247/97-2-32	3,17	0,67	1,19	0,05
Л. 247/97-2-35	3,21	0,74	1,13	0,01
Л. 247/97-2-40	3,33	1,35	0,98	0,15

Примечание. Разница по сравнению с сортом яровой мягкой пшеницы Омская 35 достоверно больше при * $P < 0,05$.

и Л.242/97-2-10 по сравнению с другими изученными линиями в соответствующих группах среднеспелых и среднепоздних генотипов (табл. 2). Известно, что селекция на гомеостатичность особое значение имеет для сортов пшеницы, рассчитанных для выращивания в регионах с недостаточным увлажнением, какими являются южная лесостепь и степь Западной Сибири (Щербаков, 1981).

Из результатов данного раздела работы следует, что линии Л. 242/97-2-45 и Л. 242/97-2-10 относятся к наиболее ценным в селекционном плане генотипам, поскольку характеризуются высоким адаптивным потенциалом.

Анализ линий яровой мягкой пшеницы Омская 37 на устойчивость к засухе. В эту часть работы было включено 4 линии сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 – среднеспелая линия Л.242/97-2-45 и три среднепоздние линии – Л.247/97-2-10, Л.242/97-2-13 и Л.242/97-2-35. В качестве стандарта использован среднепоздний сорт яровой мягкой пшеницы Омская 18, который характеризуется повышенной устойчивостью к засухе. Оценку линий на

засухоустойчивость проводили по результатам тестирования *in vitro* и по урожайности в разные по влагообеспеченности годы (2009 и 2010 гг.). 2009 г. характеризовался достаточной влагообеспеченностью, что создавало благоприятные условия для выращивания пшеницы. Условия 2010 г. были менее благоприятными из-за недостаточной влагообеспеченности.

При тестировании *in vitro* изучаемых линий к неблагоприятным абиотическим факторам среды показателем устойчивости генотипов к засухе служило проявление побегообразования у эксплантов из зрелых зародышей при культивировании их на каллусогенной среде, содержащей 2,4-Д (Россеев и др., 2010). По данным проведенного тестирования, линия Л. 242/97-2-13 отнесена к генотипам с повышенной устойчивостью к засухе. Индекс устойчивости этой линии достоверно не отличается от индекса устойчивости засухоустойчивого сорта Омская 18 (табл. 3).

У трех других линий, Л.242/97-2-10, Л.242/97-2-35 и Л. 242/97-2-45, индексы устойчивости достоверно ниже, чем у сорта Омская 18. Эти линии отнесены к генотипам со средней засухоустойчивостью. С этими результатами согласуются и данные, полученные при оценке урожайности линий в годы с разной влагообеспеченностью.

Урожайность засухоустойчивого сорта Омская 18 и засухоустойчивой линии Л.242/97-2-13 в год с недостаточной влагообеспеченностью

(2010 г.) достоверно не отличалась от урожайности при благоприятных условиях выращивания пшеницы (2009 г.).

Другой была реакция на недостаток влаги у линий со средней засухоустойчивостью (Л.242/97-2-10, Л.242/97-2-35, Л.242/97-2-45). В год с недостаточной влагообеспеченностью (2010 г.) урожайность этих линий была достоверно сниженной относительно предыдущего благоприятного по влагообеспеченности года (2009 г.). Поскольку изученные линии со средней засухоустойчивостью обладают комплексом хозяйственно ценных свойств, их рекомендуется использовать в селекционном процессе при создании сортов для лесостепной зоны, где по влагообеспеченности условия выращивания более благоприятные.

Обсуждение результатов

Отбор линий из сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 проводился в течение 6 лет, начиная с 2004 г. Первоначально из этого сорта по признакам продуктивности было выделено 500 линий, включенных в дальнейший селекционный процесс. На этапе, предшествующем проведению настоящей работы, было изучено 22 линии, которые характеризовал полиморфизм по показателям качества зерна и полевой устойчивости к мучнистой росе и бурой ржавчине в условиях Омской области (Белан и др., 2010). Кроме того, у 20 из этих линий была выявle-

Таблица 3

Результаты изучения линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 *in vitro* и в полевых условиях на устойчивость к засухе

Сорт, линия	Индекс устойчивости по оценке <i>in vitro</i>	Засухоустойчивость	Урожайность, т/га	
			Достаточная влагообеспеченность, 2009 г.	Недостаточная влагообеспеченность, 2010 г.
Омская 18 (стандарт)	60 ± 1,7	Повышенная	2,92	2,70
Л.242/97-2-13	57 ± 1,2	Повышенная	2,90	2,45
Л.242/97-2-10	46 ± 1,5	Средняя	4,15***	2,03
Л.242/97-2-35	48 ± 1,4	Средняя	3,15**	2,31
Л.242/97-2-45	40 ± 1,2	Средняя	3,50***	1,72
НСР ₀₅	4,2		0,31	0,33

Примечание. Разница по сравнению с урожайностью 2010 г. достоверно больше при ** $P < 0,01$ и *** $P < 0,001$.

на так же, как и у исходного сорта Омская 37 (Трубачеева и др., 2011), пшенично-ржаная транслокация 1RS.1BL (Белан и др., 2010). В настоящую работу было включено 9 линий, несущих эту транслокацию и характеризующихся высоким качеством зерна.

Изучение этих линий показало, что их характеризует устойчивость к омским популяциям бурой ржавчины в течение всего онтогенеза, а в стадии взрослых растений – и к омским популяциям мучнистой росы и стеблевой ржавчины. Более того, некоторые из изученных линий оказались устойчивыми или проявили умеренную устойчивость на инфекционном фоне при выращивании растений в Кении к расе стеблевой ржавчины ТТКСТ (*Ug99+Sr24*), для которой характерна комбинированная вирулентность по отношению к генотипам мягкой пшеницы, несущим гены *Sr31* и *Sr24* (Jin *et al.*, 2008). У изученных линий из-за наличия короткого плеча хромосомы 1RS в составе пшенично-ржаной транслокации присутствует ген *Sr31*. Из этого следует, что эти линии должны нести и другие гены, ответственные за устойчивость мягкой пшеницы к стеблевой ржавчине.

С-окрашивание хромосом у умеренно устойчивых линий Л.247/97-2-10, Л.242/97-2-45 и устойчивой линии Л.242/97-2-35 выявило в их кариотипах, наряду с пшенично-ржаной транслокацией 1RS.1BL, и пшенично-пырейную транслокацию 7DL-7Ai. Сегмент хромосомы пырея, входящий в состав этой транслокации, был перенесен в геном мягкой пшеницы от пырея *Thinopyrum ponticum* (= *Agropyron elongatum*; = *Thinopyrum elongatum*) (Sharma *et al.*, 1966).

Этот сегмент несет два сцепленных гена: ген *Lr19*, ответственный за устойчивость к бурой ржавчине, и ген *Sr25*, определяющий устойчивость к стеблевой ржавчине (Friebe *et al.*, 1994; Liu *et al.*, 2010). Ген *Sr25* является одним из немногих генов, который обеспечивает устойчивость мягкой пшеницы к патогенам стеблевой ржавчины, в том числе и к появившейся в последние годы агрессивной расе *Ug99+Sr24* (ТТКСТ) (Yin *et al.*, 2007). Можно считать, что наличие пшенично-пырейной транслокации 7DL-7Ai и объясняет устойчивость сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 и изученных в данной работе линий к разным популяциям стеблевой ржавчины, включая и

расу *Ug99+Sr24* (ТТКСТ). Сделанное заключение согласуется с результатами, полученными при изучении интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Юго-Востока на устойчивость к этой расе стеблевой ржавчины (Сибикеев и др., 2011).

Устойчивость к бурой ржавчине, характерная для изученных линий сорта Омская 37, связана, скорее всего, с функционированием комплекса генов, локализованных на сегменте хромосомы пырея (*Lr19*) и коротком плече хромосомы ржи 1RS (*Lr26*), ответственных за устойчивость к этому патогену. Известно, что, несмотря на то что каждый из этих генов утратил свою эффективность, их комбинация (пирамида генов) обеспечивает высокую эффективность против популяций листовой ржавчины (Сюков, Зубов, 2008). В эту пирамиду может входить и ген *Lr10*, поскольку в родословной сорта Омская 37 присутствует сорт яровой мягкой пшеницы Омская 20, носитель этого гена (Гульятеева и др., 2009).

Что касается устойчивости линий к мучнистой росе, то она могла быть обусловлена у изученных линий действием гена *Pm8*, локализованного на коротком плече хромосомы 1RS, входящей в состав пшенично-ржаной транслокации (Singh *et al.*, 1990).

Обобщая полученные данные, следует отметить, что проведенный отбор и изучение линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37 дали возможность охарактеризовать их с точки зрения селекционной ценности и включить в дальнейший селекционный процесс. Важным практическим результатом стало выделение среднепоздней линии Л.242/97-2-10, у которой повышенная урожайность сочетается с устойчивостью к листовым патогенам, а по данным, опубликованным ранее (Белан и др., 2010), с высоким качеством зерна и высокими хлебопекарными свойствами. Эти особенности линии Л.247/97-2-10 позволили передать ее в 2010 г. на Государственное сортоиспытание в качестве сорта яровой мягкой пшеницы Омская 41.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционной программы СО РАН и Россельхозакадемии и Госконкрakta № 16.512.11.2224.

Литература

- Абугалиева А.И., Зеленский Ю.И., Савин Т.В. Классификация сортов яровой мягкой пшеницы Международных питомников казахстанско-российской сети по показателям качества зерна. Астана, 2010. 61 с.
- Бебякин В.М., Кулеватова Т.Б., Старичкова Н.И. Методические подходы, методы и критерии оценки адаптивности растений // Изв. Саратов. ун-та. 2005. Т. 5. Сер. Химия. Биология. Экология. Вып. 2. С. 69–71.
- Белан И.А., Россеева Л.П., Трубачеева Н.В. и др. Особенности хозяйственно ценных признаков линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL // Информ. вестник ВОГиС. 2010. Т. 14. № 4. С. 632–640.
- Бойко В.Д., Курдюкова Т.А., Черемисина С.П. и др. Рекомендации по возделыванию сортов сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания в Омской области за 2009 год. Инспектура по Ом. обл. Ом. филиал ФГУ «Гос. комиссия РФ по испытанию и охране селекционных достижений». Омск, 2009. 140 с.
- Гульятеева Е.И., Канюка И.А., Алпатьева Н.В. и др. Молекулярные подходы в идентификации генов устойчивости к бурой ржавчине у российских сортов пшеницы // Докл. РАСХН. 2009. № 5. С. 23–26.
- Зыкин В.А., Россеева Л.П., Белан И.А., Кадилов Р.К. Методика оценки селекционных форм и сортов мягкой пшеницы при испытании на отличимость, однородность и устойчивость к факторам среды // Метод. рекоменд., СО РАСХН, СибНИИСХ, ФГОУ ВПО БГАУ. УФА, 2004. 39 с.
- Колмаков Ю.В. Оценка материала пшеницы в селекции и повышение потенциала его качества в зернопроизводстве и хлебопечении. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО Ом ГАУ, 2007. 268 с.
- Макарова Н.В., Трофимец В.Я. Статистика в Excel: Уч. пособие. М.: Финансы и статистика, 2003. 386 с.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М., 1985. 269 с.
- Михайлова Л.А., Квитко К.В. Лабораторные методы культивирования возбудителя бурой ржавчины пшеницы // Микология и фитопатология. 1970. Т.4. № 3. С. 269–270.
- Россеев В.М., Белан И.А., Россеева Л.П. Тестирование *in vitro* яровой мягкой пшеницы и ячменя на устойчивость к неблагоприятным абиотическим факторам среды // Докл. РАСХН. 2010. № 3. С. 14–16.
- Россеева Л.П., Мешкова Л.В., Белан И.А. Устойчивость яровой мягкой пшеницы к возбудителю бурой ржавчины в Западной Сибири // Матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 180-летию основания сибирской аграрной науки «Аграрная наука Сибири XXI века. Омск, ГНУ СибНИИСХ СО РАСХН, 29–30 июля 2008 г. Омск, 2008. С. 195–200.
- Сибикеев С.Н., Маркелова Т.С., Дружин А.Е. и др. Оценка набора интрогрессивных линий яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Юго-Востока на устойчивость к стеблевой ржавчине Ug99 + Sr24 (ТТКСТ) // Докл. РАСХН. 2011. № 2. С. 3–5.
- Сюков В.В., Зубов Д.Е. Генетическая коллекция мягкой пшеницы по устойчивости к бурой листовой ржавчине // Метод. рекомендации. Самара: СамНИЦ РАН, 2008. 24 с.
- Трубачеева Н.В., Россеева Л.П., Белан И.А. и др. Особенности сортов яровой мягкой пшеницы Западной Сибири, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL // Генетика. 2011. Т. 47. С. 18–24.
- Хангильдин В.В. Гомеостатичность и структура урожая зерна у сортов яровой пшеницы в условиях Башкирии // Физиологические и биохимические аспекты гетерозиса и гомеостаза растений. Уфа, 1976. С. 210–230.
- Шаманин В.П., Моргунов А.И., Чурсин А.С. и др. Представляет ли стеблевая ржавчина угрозу урожаю пшеницы в условиях Западной Сибири // Усп. соврем. естествознания. 2010. № 2. С. 56–60.
- Щербаков В.К. Эволюционно-генетическая теория биологических систем гомеостаз, значение для развития теории селекции // Вест. с.-х. науки. 1981. № 3. С. 56–67.
- Badaeva E.D., Badaev N.S., Gill B.S., Filatenko A.A. Intra-specific karyotypes divergence in *Triticum araraticum* // Plant Syst. Evol. 1994. V. 192. No 1. P. 117–145.
- Friebe B., Jiang J., Knott D.R., Gill B.S. Compensation indexes of radiation-induced wheat *Agropyron elongatum* translocations conferring resistance to leaf rust and steam rust // Crop Sci. 1994. V. 34. P. 400–404.
- Hoffmann B. Alteration of drought tolerance of winter wheat caused by translocation of rye chromosome segment 1R // Cereal Res. Commun. 2008. V. 36. P. 269–278.
- Jin Y., Singh R.P., Ward R.W. *et al.* Characterization of seedling infection types and adult plant infection responses of monogenic *Sr* gene lines to race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* // Plant Disease. 2007. V. 91. P. 1096–1099.
- Jin Y., Szabo L.J., Pretorius Z.A. *et al.* Detection of virulence to resistance gene *Sr24* within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* // Plant Disease. 2008. V. 92. P. 923–926.
- Liu S., Yu L.-X., Singh R.P., Jin Y., Sorrels M.E., Anderson J.A. Diagnostic and co-dominant PCR markers for wheat stem rust resistance genes *Sr25* and *Sr26* // Theor. Appl. Genet. 2010. V. 120. P. 691–697.
- Mains E.B., Jackson H.S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat *Puccinia triticina* Er. // Phytopathology. 1926. V. 16. No 1. P. 822–833.
- Monneveux P., Reynolds M.P., Zaharieva M., Mujeeb-Kazi A. Effect of T1BL.1RS chromosome translocation on bread wheat grain yield and physiological related traits in warm environment // Cereal Res. Commun. 2003. V. 31. P. 371–378.
- Morgounov A., Ablova I., Babayants L. *et al.* Genetic protection of wheat from rusts and development of resistant varieties in Russia and Ukraine // Euphytica. 2011. V. 179. P. 297–311.
- Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereals // Can. J. Res. Sec. C Bot. Sci. 1948. V. 26. P. 496–500.
- Pretorius Z.A., Park R.F. Origin, evolution, distribution and virulence of Ug99 and the global stem rust monitoring

- system // Proc. Intern. Conf. on Wheat Stem Rust Ug99-A. Threat to Food Security / Eds G.P. Singh, K.V. Prabhu, Anju M. Singh. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi, India. 2008. P. 1–8.
- Pretorius Z.A., Singh R.P., Wagoire W.W., Patne T.S. Detection of virulence to wheat stem rust resistance gene *Sr31* in *Puccinia triticina* f. sp. *tritici* in Uganda // Plant Disease. 2000. V. 84. P. 203.
- Rabinovich S.V. Importance of wheat-rye translocations for breeding modern cultivar of *Triticum aestivum* L. // Euphytica. 1998. V. 100. P. 323–340.
- 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.
- Shlegel R. Current list of wheats with rye and alien introgression. 2011. V05-08. 1–14. [http://www.desicca.de/Wheat-rye introgression](http://www.desicca.de/Wheat-rye%20introgression).
- Singh N.K., Shepherd K.W., McIntosh R.A. Linkage mapping of genes for resistance to leaf, steam and stripe rust and ω -secalins on the short arm of rye chromosome 1R // Theor. Appl. Genet. 1990. V. 80. P. 609–616.
- Singrun C., Rauch P., Morgounov A. *et al.* Identification of powdery mildew and leaf resistance genes in common wheat (*Triticum aestivum* L.). Wheat varieties from the Caucasus, Central and Inner Asia // Genet. Res. and Crop Evol. 2004. V. 51. P. 355–370.

EXAMINATION OF ADAPTIVE AND AGRONOMIC CHARACTERS IN LINES OF COMMON WHEAT OMSKAYA 37 BEARING TRANSLOCATIONS 1RS.1BL AND 7DL-7Ai

I.A. Belan¹, L.P. Rosseeva¹, V.M. Rosseev¹, E.D. Badaeva², Y.I. Zelenskiy³,
N.P. Blokhina¹, S.S. Shepelev¹, L.A. Pershina^{4,5}

¹ Siberian Agricultural Research Institute, SB RAAS, Omsk, Russia, e-mail: belan_skg@mail.ru;

² Engelhardt Institute of Molecular Biology, RAS, Moscow, Russia;

³ CIMMYT, PO 1443, 010000, Astana, Kazakhstan;

⁴ Institute of Cytology and Genetics, SB RAS, Novosibirsk, Russia, e-mail: pershina@bionet.nsc.ru;

⁵ Novosibirsk State University, Cytology and Genetics Department, Novosibirsk, Russia

Summary

Lines derived from spring bread wheat Omskaya 37 and possessing wheat-rye translocation 1RS.1BL have been studied and tested for resistance to fungal pathogens, drought, crop yield, and parameters characterizing ecological plasticity and stability. Three lines have been studied with the use of the C-banding technique. It is shown that these lines, in addition to wheat-rye translocation 1RS.1BL possess wheat-wheatgrass translocation 7DL-7Ai, where a segment of chromosome 7Ai of *Agropyron elongatum* (= *Thinopyrum elongatum*; = *Thinopyrum ponticum*) is translocated to the long arm of wheat chromosome 7D. It is concluded that the complex stability of Omskaya 37 and its promising lines is related to the influence of a cluster of genes located on segments of rye and *Agropyron* chromosomes involved in the respective wheat–alien translocations. Several promising lines are recommended for further use in breeding programs. One of the lines we consider here, Lutescens 242/97-2-10, is submitted to state variety trial for registration as spring wheat variety Omskaya 41.

Key words: lines of Omskaya 37 common wheat, commercially valuable traits, 1RS.1BL, 7DL-7Ai.