

УДК 633.111:321 631.524.7

УСТОЙЧИВОСТЬ К ПРЕДУБОРОЧНОМУ ПРОРАСТАНИЮ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ С *6Agⁱ(6D)*-ХРОМОСОМОЙ ОТ *AGROPYRON INTERMEDIUM*

© 2012 г. В.А. Крупнов, Г.Ю. Антонов, А.Е. Дружин, О.В. Крупнова

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

Поступила в редакцию 15 марта 2012 г. Принята к публикации 13 апреля 2012 г.

На краснозерных и белозерных рекомбинантных инбредных линиях (F7-F10 и старше) и почти изогенных линиях установлено значимое отрицательное влияние *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *Agropyron intermedium* на устойчивость к предуборочному прорастанию яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum*. Установлены также значимые различия по устойчивости к предуборочному прорастанию между краснозерными рекомбинантными инбредными линиями, содержащими эту хромосому, что, по-видимому, связано с эффектом генетического окружения. Причины негативного влияния *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *Agropyron intermedium* на устойчивость к предуборочному прорастанию яровой мягкой пшеницы неизвестны.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, *Agropyron intermedium*, красное зерно, белое зерно, покой, устойчивость к предуборочному прорастанию, *Lr19*-транслокация, *6Agⁱ(6D)*-хромосома.

Введение

Устойчивость к предуборочному прорастанию (УкП) – один из важнейших приоритетов в селекции пшеницы, так как при ее отсутствии такие факторы, как частые дожди, росы, резкие колебания температуры воздуха провоцируют прорастание зерна в колосе, что снижает урожай и качество зерна (Неттевич и др., 1986; Пухальский и др., 1986; Неттевич, 1999). Даже при едва заметном «наклеивании» зерна заметно снижается выход муки при помоле, резко ухудшаются физические свойства теста, которое становится клейким, недостаточно эластичным, выпекаемый хлеб имеет крайне низкое качество (Humphreys, Noll, 2002; Yang *et al.*, 2007). Особенно сильно страдают от предуборочного прорастания зерна белозерные сорта (Pukhalskiy, Iordanskaya, 1998; Соловов, 2003; Крупнов и др., 2006; Антонов, 2007). Поэтому во многих регионах предпочитают возделывать краснозерные сорта как более устойчивые. Однако и многие краснозерные сорта не обладают достаточной УкП (Крупнов и др., 2006), и выход

муки у них, как правило, значимо ниже, чем у белозерных сортов (Pike, MacRitchie, 2004). Прорастание зерна обусловлено активностью альфа-амилазы (*α-Amy-I*), которая разрушает крахмал в эндосперме (McIntosh *et al.*, 2009). В связи с тем что это явление может быть и в зерне без видимых признаков прорастания, то на мировом рынке широко используют такой показатель качества зерна, как «число падения» (Крупнова, 2009).

УкП контролируется, с одной стороны, генами покоя семян *Vp* (Viviparous), с другой – генами, которые находятся в различных *QPhsR*-локусах (McIntosh *et al.*, 2008). У мягкой пшеницы идентифицированы три *Vp-I* гена-гомеолога – *Vp-A1*, *Vp-B1* и *Vp-D1* (или *TaVp-A1*, *TaVp-B1* и *TaVp-D*), которые находятся, соответственно, в субгеномах А, В и D (McKibbin *et al.*, 2002) и локализованы в длинных плечах хромосом 3-й группы (3AL, 3BL и 3DL) на расстоянии примерно 30 сМ от *R*-локусов, контролирующих окраску семян (Bailey *et al.*, 1999). Во взаимосвязях между зародышем, эндоспермом и алейроном важную роль играют регуляторные

белки тиоредоксины – продукты гена(ов) *Trxs*, что продемонстрировано на трансгенных растениях ячменя и пшеницы (Wong *et al.*, 2002; Li *et al.*, 2009; Shahpiri *et al.*, 2009).

На УкП влияют также морфофизиологические признаки: окраска зерна (Коваль и др., 1991, 2001), наличие на колосковых чешуях воскового налета, плотность прилегания чешуй к семени, угол наклона колоса и другие (Пеккер, Коваль, 1985; Соловов, 2003; Антонов, 2007). УкП зависит от резких колебаний температуры воздуха и других факторов внешней среды в период налива и созревания зерна (Biddulph *et al.*, 2008).

В последнее время для расширения зародышевой плазмы мягкой пшеницы широко используют генетический материал от различных сородичей, в частности от ржи посевной (*Secale cereale* L.), различных видов эгилопса и пырея (McIntosh *et al.*, 2008; Крупнова, 2010; Крупнов и др., 2010а). В Поволжье получили распространение сорта яровой мягкой пшеницы, содержащие *Lr19*-транслокацию (на хромосоме 7D) от *Agropyron elongatum* Host. (syn. *Lophopyrum elongatum*) и *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *Agropyron intermedium* Host. (syn. *Thinopyrum intermedium*), заместившую *6D*-хромосому у мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) (Крупнова, 2010; Крупнов и др., 2010б). Благодаря использованию этих транслокаций повышена устойчивость пшеницы к листовой ржавчине и другим патогенам. Однако влияние *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *A. intermedium* и ее сочетания с *Lr19*-транслокацией (на хромосоме 7D) от *A. elongatum* на УкП пшеницы изучено недостаточно (Соловов, 2003; Антонов, 2007; Крупнов и др., 2010а).

Цель настоящей работы – изучить влияние *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *A. intermedium* на УкП краснозерных и белозерных линий яровой мягкой пшеницы.

Материал и методы

Для исследования использовали беккросные, рекомбинантные инбредные линии (F₇–F₁₀ и старше) и почти изогенные линии, созданные в лаборатории генетики и цитологии ГНУ НИИСХ Юго-Востока путем скрещивания двух неустойчивых к предуборочному прорастанию линий Л400R (белозерный генотип) и Мульти6R (М6R) (краснозерный генотип) с краснозерными

линиями (Л2032, Л583, Л503, Л505, Л1089), характеризующихся высоким уровнем УкП, а также с белозерной линией Л504 со слабой УкП (табл.). Линии Л400R и Мульти6R имеют *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium* Host., заместившую *6D*-хромосому у мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) (Сибикеев и др., 2005). Во всех остальных родительских генотипах содержится *Lr19*-транслокация (на хромосоме 7D) от *A. elongatum* Host.

Рекомбинанты представляют собой отбор гомозигот из гибридных популяций, наиболее устойчивых к листовой ржавчине (*Puccinia triticina* Eriks. & E. Henn. = *P. recondita* f. sp. *tritici*) и другим патогенам, а также наиболее урожайных, с хорошим качеством зерна, однако в процессе создания рекомбинантов отбор на УкП не проводился. Среди рекомбинантов имеются пары почти изогенных линий по окраске зерна: 1) Л204 и Л205; 2) Л293 и Л688; 3) Л708 и Л709; 4) Л825 и Л585 (табл. 1). В качестве контроля служили также следующие почти изогенные пары: Л400S и Л400R – белозерные почти изогенные линии, которые, как уже отмечалось, различаются по содержанию *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *A. intermedium*, Л503 и Л504 различаются по окраске зерна, Л359S и Л359R различаются по содержанию *Lr19*-транслокации. Методика полевых исследований и условия их проведения изложены в работе Крупнова с соавт. (2010б).

Окраску зерна оценивали визуально 2–3 наблюдателя, независимо один от другого. В связи с тем что степень окраски зависит не только от количества *R*-генов (одна, две, три пары аллелей), но также от условий погоды, особенно от осадков, для оценки использовали 5 %-й-*NaOH* (водный раствор). Этот метод позволил четко (без противоречий) разбить все генотипы на две группы: белые (цвет соломы светло-золотистый) и красные. Однако не было полного согласия в разделении группы краснозерных генотипов на три подгруппы: светло-красные, красные и темно-красные.

В конце фазы восковой спелости зерна колосья срезали незамедлительно после полного пожелтения колосковых чешуй, с длиной соломины до 15–20 см, по 5 колосьев с каждой из четырех повторностей. Колосья подсушивали, обмолачивали и семена помещали на хранение

Таблица

Всхожесть физиологически зрелых красных (К) и белых (Б) семян линий, различающихся по содержанию *Lr19*-транслокации от *Agropyron elongatum* и *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *Agropyron intermedium* в 2003–2006 гг.

Генотип	Lr-транслокация	Окраска семян	Годы исследований				Среднее
			2003	2004	2005	2006	
Родители и контроли							
Л503	AgelLr19	К	22,0	13,5	21,5	10	19,0
Л504	AgelLr19	Б	84,5	48,0	71,0	–	67,8
Л505	AgelLr19	К	60,0	39,5	20,5	10,0	32,5
Л1089	AgelLr19	К	6,0	13,5	15,5	23,0	14,5
Л2032	AgelLr19	К	13,0	10,0	20,5	7,0	12,6
Л400R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	Б	95,0	93,0	94,0	92,0	95,4
Л400S		Б	87,5	83,5	89,5	89,0	87,4
М6R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	К	93,5	92,5	74,0	89,0	87,2
Л359R	AgelLr19	К	15,0	17,0	26,5	12,0	17,6
Л359S		К	15,0	16,5	22,0	13,0	16,6
Рекомбинантные инбредные линии							
Л204,Л400/Л1089	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	96,0	92,0	90,0	90,0	92,0
Л205,Л400/Л1089	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	Б	96,0	95,5	93,5	97,0	95,5
Л293,Л2032/Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	49,0	40,0	73,0	75,0	59,2
Л688,Л2032/Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	Б	96,0	88,0	85,5	89,0	89,6
Л708,Л505//Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	–	80,0	85,0	76,0	80,3
Л709,Л505//Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	Б	–	98,0	85,0	96,3	93,1
Л825,Л505//Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	–	94,0	80,0	80,7	84,9
Л585,Л505//Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	Б	–	95,0	94,0	95,3	94,8
Л386, 2032/Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	89,0	72,0	81,0	–	80,6
Л680, 2032/Л400R,	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	95,0	85,5	74,5	–	85,0
Л681, Л2032/Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	98,0	91,5	76,5	–	88,6
Л735, Л2032/Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	77,0	91,5	85,0	–	84,5
Л391, Л2032/Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	49,0	33,5	37,5		
Л774,Л2032/Л400R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	К	19,0	34,5	39,5	–	31,0
Л484,Л503/М6R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	К	93,0	94,0	81,0	–	89,3
Л785,Л504/Л400R	Agel+ <i>6Agⁱ(6D)</i>	Б	94,0	91,0	85,0	–	90,0
Л780,Л583/Л400R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	Б	96,0	91,0	80,0	–	89,0
Л482,Л1089/М6R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	К	39,5	45,0	50,5	–	45,0
Л483, Л2032*2/ М6R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	К	43,7	47,5	38,5	–	42,8
Л487, Л2032*2/М6R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	К	46,5	34,0	64,0	–	48,1
Л488, Л2032*2/М6R	<i>6Agⁱ(6D)</i>	К	90,5	30,0	31,0	–	50,5
F _{факт.}			33,4*	26,3*	44,3*	21,5*	
HCP _{0,05}			5,1	16,0	10,8	9,2	

* $P < 0,05$.

в морозильную камеру при температуре -20°C . В чашки Петри на фильтровальной бумаге помещали по 50 семян каждой повторности. Семена замачивали в водопроводной воде при температуре $20-21^{\circ}\text{C}$. Подсчет проросших семян производили на 7-е сутки после начала замачивания (Соловов, 2003; Антонов, 2007).

Полученные данные подвергли дисперсионному анализу по программе «AGROS-2.02».

Результаты

Годы исследований (2003–2006) были контрастными по температурному режиму, количеству и времени выпадения атмосферных осадков. 2003 г. был благоприятным по количеству осадков, времени их выпадения и температурному режиму воздуха. В период от колошения до уборки урожая было 14 дней с осадками, наблюдалась высокая доля зерна с черным зародышем.

2004 г. – засушливый в первой половине вегетации. После колошения осадков выпало выше среднего многолетнего, значимый ущерб от эпифитотии листовой ржавчины. В период от колошения до уборки урожая было 19 дней с осадками. После достижения физиологической спелости семян осадки выпадали трижды: 8 августа (2,6 мм), 13 августа (0,3 мм) и 14 августа (3,3 мм). Наблюдалась высокая доля зерна с черным зародышем.

2005 г. – средnezасушливый, ущерб от эпифитотии листовой ржавчины значимый, как и в предыдущем году. В период от колошения до уборки урожая было 14 дней с осадками, после достижения физиологической спелости семян осадки отсутствовали.

2006 г. – средnezасушливый, в период от колошения до созревания температурный режим был повышенным, в отдельные дни температура достигала 30°C . В период от колошения до уборки урожая было 10 дней с осадками, в том числе после достижения физиологической спелости – 6 дней, в результате зерно поблекло (19 июля).

Результаты изучения устойчивости линий к предуборочному прорастанию представлены в таблице.

Как видно из таблицы, во все годы как родительские генотипы, так и производные от них рекомбинантные линии статистически значимо ($P < 0,05$) различаются по УкП, измеряемой по

всхожести физиологически зрелых семян. При этом весьма четко просматриваются следующие особенности.

Все родительские генотипы, содержащие *Lr19*-транслокацию от *A. elongatum*, характеризуются достоверно более высоким уровнем УкП, чем генотипы, содержащие *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*.

Все производные рекомбинантные инбредные линии различаются по наличию комбинации чужеродных транслокаций. Из 21 рекомбинантного генотипа только 6 (линии Л774, Л780, Л483, Л487, Л488 и Л482) имеют всего лишь одну транслокацию – *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*, а у остальных 15 линий она сочетается с *Lr19*-транслокацией от *A. elongatum*.

Независимо от наличия у рекомбинантов одной *6Agⁱ(6D)*-хромосомы или ее сочетания с *Lr19*-транслокацией от *A. elongatum* все эти генотипы характеризуются более низким уровнем УкП, чем родители, не имеющие *6Agⁱ(6D)*-хромосомы.

Линии различаются не только по наличию транслокаций, но также по окраске зерна. У 6 рекомбинантов и 3 родителей семена белые, а у остальных – красные. У краснозерных рекомбинантов УкП колеблется в среднем от 31 (Л774) до 92 % (Л204), у белозерных – от 89 (Л780) до 95 % (Л205). Приближение краснозерной линии Л774 к линиям Л503 и Л2032 по уровню УкП дает основание предполагать, что путем селекции можно «смягчить» неблагоприятное влияние *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *A. intermedium* на этот признак и создать сорта, более устойчивые к прорастанию.

Анализ влияния окраски зерна на УкП почти изогенных пар линий показал, что во всех 5 парах почти изогенных линий краснозерные более устойчивы к предуборочному прорастанию, чем белозерные (табл.). В первой паре (Л503 и Л504) различия между sibсами статистически достоверные во все годы, во второй паре (Л293 и Л688) – только в 3 из 4 лет, в третьей паре (Л708 и Л709) – в 2 из 3 лет, в четвертой (Л825 и Л585) – также в 2 из 3 лет. У других рекомбинантных генотипов, имеющих сочетание двух чужеродных транслокаций, а также у линии Л780, которая имеет только одну из них – (*6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*), УкП достоверно ниже, чем у соответствующего

устойчивого родителя. У беккроссных линий (Л483, Л487 и Л488) УкП также значимо ниже, чем у контроля (Л2032).

Обсуждение

Сравнение почти изогенных линий в парах Л503 и Л504, Л293 и Л688, Л708 и Л709, Л825 и Л585 свидетельствует о значимой связи УкП с окраской семян во все годы исследований. Однако этот признак не является главным, так как у многих других красnozерных генотипов, содержащих *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*, уровень УкП ниже, чем у белозерного стандарта Л504, имеющего транслокацию от *A. elongatum*. Уместно отметить, что в родословную линии М6R (Сибикеев и др., 2005) в отличие от Л400R и Л400S, входят только красnozерные генотипы (сорт Саратовская 29 и ее аналоги – Эгисар 29, АС12, а также сорта Московская 35 и Родина). Сорт Саратовская 29 высокоустойчив к предуборочному прорастанию (Соловов, 2003; Антонов, 2007), сорт Московская 35 и сорт Родина – среднеустойчивые (Неттевич и др., 1986).

Различия между красnozерными родительскими генотипами (Л503, Л505, Л1089 и Л2032) и производными красnozерными рекомбинантными линиями в УкП могут быть связаны с разными факторами (число *R*-генов и *QPhsR*), хотя обычно вклад *R*-дозы в УкП трудноуловим (Flintham, 2000). А относительно более высокий уровень УкП у красnozерных линий Л482 Л483, Л487, Л488 и особенно у Л774 (имеющих *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*) по сравнению с другими красnozерными может быть связан с эффектами каких-то других генов.

У мягкой пшеницы три гена-ортолога (*a-Amy-A1*, *a-Amy-B1* и *a-Amy-D1*) идентифицированы и локализованы на длинных плечах хромосом шестой группы (6AL, 6BL и 6DL) (McIntosh и др., 2009). Есть ли их ортолог в *6Agⁱ(6D)*-хромосоме от *A. intermedium* в рассматриваемых линиях, неизвестно. У мягкой пшеницы подавляющее большинство локусов *QPhsR* сосредоточено в хромосомах группы 3 и 4, и крайне редко они встречаются в хромосомах группы 6 (Крупнов и др., 2010а).

Кроме того, следует обратить внимание на то, что низкий уровень УкП наблюдается не только у линии Л400R с *6Agⁱ(6D)*-хромосомой,

но также у изогенной линии Л400S, у которой этой хромосомы нет. Это свидетельствует о том, что *6Agⁱ(6D)*-хромосома, по-видимому, вносит изменения в регуляцию устойчивости к предуборочному прорастанию уже в F₁-гибридах.

В литературе нам не удалось найти информацию о результатах аналогичных исследований по влиянию хромосомы от *A. intermedium* на УкП пшеницы. Между тем на рекомбинантных генотипах от скрещивания устойчивого к предуборочному прорастанию синтетического гексаплоида Syn37 (*Aegilops tauschii/Triticum turgidum* L. ssp. *durum* var. Altar84) с неустойчивым сортом мягкой пшеницы Janz было показано, что в геноме сорта имеется фактор УкП, но он не экспрессируется из-за наличия супрессора в D-геноме (Imtiaz et al., 2008).

Выводы

Все белозерные линии *T. aestivum*, содержащие *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*, не устойчивы к предуборочному прорастанию. Из четырех пар почти изогенных линий, содержащих *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*, но различающихся по окраске зерна, в трех парах красnozерные сибывы не устойчивы к предуборочному прорастанию, а в паре Л293 и Л688 красnozерная линия Л293 среднеустойчива. Установлены также значимые различия по устойчивости к предуборочному прорастанию между красnozерными рекомбинантными инбредными линиями, содержащими эту хромосому, что, по-видимому, связано с эффектом генетического окружения. Однако все без исключения красnozерные рекомбинантные линии, содержащие *6Agⁱ(6D)*-хромосому от *A. intermedium*, по УкП значимо уступают таким красnozерным контрольным линиям, как Л503 и Л2032. Результаты нашего исследования свидетельствуют об актуальности изучения генетического содержания *6Agⁱ(6D)*-хромосомы от *A. intermedium*, в частности, выяснения молекулярных механизмов ее влияния на устойчивость к предуборочному прорастанию *T. aestivum*.

Литература

- Антонов Г.Ю. Источники устойчивости к предуборочному прорастанию и продуктивность яровой мягкой пшеницы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова, 2007. 20 с.

- Коваль С.Ф., Коваль В.С., Шаманин В.П. Изогенные линии пшеницы. Омск: Омскбланкиздат, 2001. 152 с.
- Коваль С.Ф., Ермакова М.Ф., Попова Р.К. Сравнительное изучение красnozерных и белозерных линий яровой пшеницы // Изогенные линии культурных растений: Матер. Первого Всесоюз. совещ. по использованию изогенных линий в селекционно-генетических экспериментах (Новосибирск, 27–29 марта 1990). Новосибирск, 1991. С. 140–148.
- Крупнов В.А., Антонов Г.Ю., Сибикеев С.Н., Крупнова О.В. Устойчивость к предуборочному прорастанию красnozерной и белозерной мягкой пшеницы // Современные проблемы почвозащитного земледелия и пути повышения устойчивости зернового производства в степных регионах: Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию РГП «НПЦ зернового хозяйства им. А.И. Барасва». МСХ РК – Шортланды, 2006. Ч. 2. С. 87–92.
- Крупнов В.А., Сибикеев С.Н., Крупнова О.В. Генетический контроль покоя и устойчивости к предуборочному прорастанию семян у пшеницы // С.-х. биология. 2010а. № 3. С. 3–16.
- 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. 2010б. № 1 (4). С. 11–14.
- Крупнова О.В. Влияние года, Lg-транслокаций и почернения зародыша на число падения у сортов и линий яровой мягкой пшеницы // Сб. матер. региональной науч.-практ. конф. 26–27 февраля 2009 г. Саратов. Ч. 1. С. 135–143.
- Крупнова О.В. Качество зерна яровой мягкой пшеницы с транслокациями от сородичей: Автореф. дис. д-ра биол. наук. Саратов: ГНУ НИИСХ Юго-Востока, 2010. 44 с.
- Крупнова О.В., Дружин А.Е., Воронина С.А., Крупнов В.А. 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. // Информ. вестник ВОГиС. 2010. Т. 14. № 4. С. 641–646.
- Крупнова О.В., Сибикеев С.Н., Крупнов В.А. и др. Качество зерна у устойчивых и восприимчивых к предуборочному прорастанию генотипов пшеницы // Сб. науч. тр., посвящ. 135-летию со дня рождения Г.К. Мейстера и 100-летию со дня основания Аркадак. опыт. станции. ГНУ НИИСХ Юго-Востока Россельхозакадемии. Саратов: Ракус, 2009. С. 113–119.
- Неттевич Э.Д. Качество зерна яровой мягкой пшеницы в связи с устойчивостью к прорастанию на корню // Докл. РАСХН. 1999. № 6. С. 6–8.
- Неттевич Э.Д., Беркутова Н.С., Максименко М.И. Устойчивость сортов яровой пшеницы к прорастанию зерна в колосе и селекция на качество в условиях Нечерноземья // С.-х. биология. 1986. № 2. С. 3–7.
- Пеккер Е.Г., Коваль С.Ф. Ингибиторы прорастания красnozерных аналогов яровой пшеницы Новосибирская 67 // Физиология и биохимия культурных растений. 1985. Т. 17. С. 571–576.
- Пухальский А.В., Максимов И.Л., Черемисова Т.Д. Генетические ресурсы селекции озимой пшеницы на устойчивость к предуборочному прорастанию зерна // Докл. ВАСХНИЛ. 1986. № 2. С. 15–17.
- Сибикеев С.Н., Крупнов В.А., Воронина С.А., Бадаева Е.Д. Идентификация чужеродной хромосомы у линии мягкой пшеницы Мульти 6R // Генетика. 2005. Т. 41. № 8. С. 1084–1089.
- Соловов Д.П. Устойчивость яровой мягкой пшеницы к предуборочному прорастанию в Нижнем Поволжье: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов: ГНУ НИИСХ Юго-Востока, 2003. 23 с.
- Bailey P.C., McKibbin R.S., Lenton J.R. et al. Genetic map locations for orthologous *Vp1* genes in wheat and rice // Theor. Appl. Genet. 1999. V. 98. P. 281–284.
- Biddulph T.B., Plummer J.A., Setter T.L., Mares D.J. Seasonal conditions influence dormancy and preharvest sprouting tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field // Field Crops Res. 2008. V. 107. P. 116–128.
- Flintham J.E. Different genetic components control coat-imposed and embryo-imposed dormancy in wheat // Seed Sci. Res. 2000. V. 10. P. 43–50.
- Humphreys D.G., Noll J. Methods for characterization of preharvest sprouting tolerance in a wheat breeding program // Euphytica. 2002. V. 126. P. 61–65.
- Imtiaz M., Ogbonnaya F.C., Oman J., van Ginkel M. Characterization of quantitative trait loci controlling genetic variation for preharvest sprouting in synthetic backcross-derived wheat lines // Genetics. 2008. V. 178. P. 1725–1736.
- Li Y.-C., Ren J.-P., Cho M.-J. et al. The level of expression of thioredoxin is linked to fundamental properties and applications of wheat seeds // Mol. Plant. 2009. V. 2. P. 430–441.
- McIntosh R.A., Dubcovsky J., Rogers W.J. et al. Catalogue of gene symbols for wheat: 2009. Supplement // Annu. Wheat Newslett., KSU, USA. 2009. V. 55. P. 256–278.
- 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/>
- McKibbin R.S., Wilkinson M.D., Bailey P.C. et al. Transcripts of *Vp-1* homeologues are misspliced in modern wheat and ancestral species // Proc. Natl Acad. Sci. USA. 2002. V. 99. P. 10203–10208.
- Pike P.R., MacRitchie F. Protein composition and quality of some new hard white winter wheats // Crop Sci. 2004. V. 44. P. 173–176.
- Pukhalskiy V.A., Iordanskaya I.V. Inheritance of pre-harvest sprouting tolerance in the *Triticum aestivum* L. Cultivar VIR 52548 // Proc. of the 9th Intern. Wheat Genet. Symp., Saskatoon, Saskatchewan, Canada 2–7 August 1998. P. 34–36.
- Shahpiri A., Svensson B., Finnie C. From proteomics to structural studies of cytosolic/mitochondrial-type thioredoxin systems in barley seeds // Mol. Plant. 2009. V. 2. P. 378–389.
- Wong J.H., Kim Y.B., Ren P.H. et al. Transgenic barley grain overexpressing thioredoxin shows evidence that the starchy endosperm communicates with the embryo and the aleurone // Proc. Natl Acad. Sci. USA. 2002. V. 99. P. 16325–16330.
- Yang Y., Ma Y.Z., Xu Z.S. et al. Isolation and characterization of *Viviparous-1* genes in wheat cultivars with distinct ABA sensitivity and pre-harvest sprouting tolerance // J. Exp. Bot. 2007. V. 58. P. 2863–2871.

**PREHARVEST SPROUTING RESISTANCE
IN SPRING BREAD WHEAT CARRYING CHROMOSOME $6Ag^i(6D)$
FROM *AGROPYRON INTERMEDIUM***

V.A. Krupnov, G.Yu. Antonov, A.E. Druzhin, O.V. Krupnova

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

Summary

A significant adverse effect of chromosome $6Ag^i(6D)$ -from *Agropyron intermedium* on preharvest sprouting resistance was found in inbred lines (F_7 - F_{10} or senior) and near-isogenic lines of red-grain and white-grain common spring wheat. The red-grain recombinant inbred lines, carrying this substitution chromosome, varied significantly in this trait, probably, owing to the genetic background effect. The causes of the adverse effect of chromosome $6Ag^i(6D)$ from *Agropyron intermedium* on preharvest sprouting resistance are unknown.

Key words: *Triticum aestivum*, *Agropyron intermedium*, red grain, white grain, kernel color, dormancy, preharvest sprouting resistance, *Lr19* translocation, $6Ag^i(6D)$ chromosome.