

УДК 577.21:633.111:633.14

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАМЕЩЕНИЯ 2R/2D СРЕДИ СОРТООБРАЗЦОВ
ЯРОВОЙ ГЕКСАПЛОИДНОЙ ТРИТИКАЛЕ (\times TRITICOSECALE WITTM.)**

А.Д. КОРШУНОВА, М.Г. ДИВАШУК, Г.И. КАРЛОВ, А.А. СОЛОВЬЕВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Анализ коллекции 86 сортообразцов яровой гексаплоидной тритикале различного географического происхождения показал наличие замещения 2R/2D у 17 образцов, все они являются селекционными линиями. Ни один из исследованных коммерческих сортов не несет замещения. У линии Л2412 было выявлено замещение 2B/2D.

Ключевые слова: тритикале, замещение 2R/2D, Ppd-D1, замещение 2B/2D, ДНК-маркеры.

Благодаря способности тритикале давать большие урожаи зерна и биомассы в широком диапазоне почвенно-климатических условий, на сегодняшний день ее выращивают в 42 странах мира на площади свыше 3,8 млн га. Однако у этой культуры имеется ряд недостатков, таких как высокорослость, подверженность прорастанию на корню, низкие хлебопекарные качества [1, 2, 6]. Одним из решений этих проблем является замещение отдельных хромосом ржи хромосомами D-генома пшеницы.

Среди сортов и линий озимой гексаплоидной тритикале (AABBRR) широкое распространение получило замещение 2R/2D [1, 14]. Наличие замещения 2R/2D помогает решать такие проблемы, как чрезмерная высота растений, сильная подверженность прорастанию на корню, позднее созревание. Также наличие хромосомы 2D в геноме озимой гексаплоидной тритикале увеличивает урожайность этой культуры и качество получаемого зерна [2, 11, 14]. Эффект, оказываемый хромосомой 2D, может быть обусловлен наличием важного гена, положительно влияющего на многие хозяйственно-ценные признаки, — Ppd-D1. Наличие доминантного аллеля Ppd-D1a снижает высоту растений пшеницы на 10 см и ускоряет наступление фазы цветения, уменьшая их жизненный цикл в среднем на неделю, что позволяет лучше переносить засуху [19, 20]. Также наличие аллеля Ppd-D1a обеспечивает увеличение урожайности от 9% в регионах с длинным днем до 50% в регионах с коротким днем.

Встречаемость замещения 2R/2D достаточно широко изучалась среди сортов и линий озимой тритикале благодаря его положительному влиянию на хозяйственно-ценные признаки [1, 2, 14]. Но среди сортообразцов яровой тритикале подобные исследования не проводились. В этой работе мы исследуем коллекцию яровой гексаплоидной тритикале на наличие замещения 2R/2D.

Методика исследований

Материалом служила коллекция яровой гексаплоидной тритикале кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Она состояла из 86 образцов (23 сорта и 63 селекционные линии) различного географического происхождения (табл.).

Характеристика сортов и линий яровой гексаплоидной тритикале по происхождению, наличию замещения 2R/2D и аллелям гена *Ppd-D1*

Название сорта/ селекционной линии	Происхождение	Xwmc111	Xgwm349	Sec2	2R/2D	Аллель гена <i>Ppd-D1</i>
Белорусский*	Беларусь	–	–	+	–	–
Лана*	Беларусь	–	–	+	–	–
Ульяна*	Беларусь	–	–	+	–	–
Узор*	Беларусь	–	–	+	–	–
Gabo*	Польша	–	–	+	–	–
Dublett*	Польша	–	–	+	–	–
Gredo*	Польша	–	–	+	–	–
Legalo*	Польша	–	–	+	–	–
Wanad*	Польша	–	–	+	–	–
Abaco*	Польша	–	–	+	–	–
Activo*	Польша	–	–	+	–	–
Арта 59*	Россия	–	–	+	–	–
131/7**	Россия	+	+	+	–	<i>b</i>
Ярило*	Россия	–	–	+	–	–
Амиго*	Россия	–	–	+	–	–
Память Мережко*	Россия, Беларусь	–	–	+	–	–
Карменн*	Россия, Беларусь	–	–	+	–	–
Норманн*	Россия, Беларусь	–	–	+	–	–
Укро*	Россия, Украина	–	–	+	–	–
Хлебодар харьковский*	Украина	–	–	+	–	–
Соловей Харьковский*	Украина	–	–	+	–	–
Харьковский 1*	Украина	–	–	+	–	–
Sandro*	Швейцария	–	–	+	–	–

Продолжение таблицы

Название сорта/ селекционной линии	Происхождение	Xwmc111	Xgwm349	Sec2	2R/2D	Аллель гена <i>Ppd-D1</i>
PI 587265	Австралия	+	+	-	+	<i>a</i>
K-1752	Беларусь	-	-	+	-	-
K-1763	Беларусь	+	+	-	+	<i>a</i>
K-1767	Беларусь	-	-	+	-	-
K-1220	Бурунди	+	+	-	+	<i>a</i>
K-1200	Испания	-	-	+	-	-
K 1202	Испания	+	+	-	+	<i>a</i>
K 1203	Испания	+	+	-	+	<i>a</i>
K-1185	Мексика	+	+	-	+	<i>a</i>
K-1433	Мексика	+	+	-	+	<i>a</i>
K-1190	Мексика	+	+	-	+	<i>a</i>
K 1186	Мексика	+	+	-	+	<i>a</i>
PI 422258	Мексика	+	+	-	+	<i>a</i>
PI 422260	Мексика	-	-	+	-	-
PI 519877	Мексика	+	+	-	+	<i>a</i>
PI 520445	Мексика	-	-	+	-	-
PI 520484	Мексика	-	-	+	-	-
PI 429082	Польша	-	-	+	-	-
Presto//Tesmo	Польша	-	-	+	-	-
T 327	Россия	-	-	+	-	-
T 323	Россия	-	-	+	-	-
T 324	Россия	-	-	+	-	-
T 328	Россия	-	-	+	-	-
T 329	Россия	-	-	+	-	-
T 348	Россия	-	-	+	-	-
Мексика 38	Россия	-	-	+	-	-
Мексика 57	Россия	-	-	+	-	-
Мексика 55	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 557	Россия	-	-	+	-	-

Продолжение таблицы

Название сорта/ селекционной линии	Происхождение	Xwmc111	Xgwm349	Sec2	2R/2D	Аллель гена Ppd-D1
ПРАГ 554(8)	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 554/1	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 554/2	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 418	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 500/1	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 511	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 553 (20)	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 553 (5)	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 553(3)	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 553/1	Россия	-	-	+	-	-
ПРАГ 553/2	Россия	-	-	+	-	-
Л 1338	Россия	-	-	+	-	-
Л 2412	Россия	+	+	+	-	<i>a</i>
Л 8112	Россия	-	-	+	-	-
Лена 1270	Россия	-	-	+	-	-
Rosner 612	США	+	+	-	+	<i>a</i>
K-1242	США	-	-	+	-	-
С 191	США	+	+	-	+	<i>a</i>
PI 559373	США	-	-	+	-	-
PI 587279	США	-	-	+	-	-
PI 587388	США	+	+	-	+	<i>a</i>
PI 587531	США	-	-	+	-	-
PI 587548	США	-	-	+	-	-
K-1922	Чехословакия	+	+	-	+	<i>a</i>
PI 429153	Швейцария	-	-	+	-	-
PI 429157	Швеция	-	-	+	-	-
PI 429159	Швеция	-	-	+	-	-
PI 429151	Швеция	-	-	+	-	-
PI 429158	Швеция	-	-	+	-	-

Название сорта/ селекционной линии	Происхождение	Xwmc111	Xgwm349	Sec2	2R/2D	Аллель гена <i>Ppd-D1</i>
PI 429160	Швеция	–	–	+	–	–
PI 429162	Швеция	–	–	+	–	–
K-1068	Эфиопия	–	–	+	–	–
PI 428904		+	+	–	+	<i>a</i>
PI 429031		+	+	–	+	<i>a</i>

* Сорта яровой гексаплоидной тритикале.

** Присутствует хромосома 2D и транслокация T2RS.2RL-2BL [12].

Геномную ДНК выделяли из 3-дневных проростков по методу Bernatzky и Tanksley [10] с некоторыми модификациями.

Наличие замещений определяли при помощи молекулярных маркеров: SSR (Xwmc111 (2DS), Xgwm349 (2DL), Xbarc168 (2DS), Xgwm102 (2DS), Xgwm484 (2DS), Xgwm539 (2DL), Xbarc271 (1DL), Xbarc149 (1DS)); STS (Sec2 (2RS)) [16]; PLUG (TNAC1204, TNAC1176) [17]. Условия проведения ПЦР с маркерами на микросателлиты были аналогичны описанным в статьях Lapin et al., Дивашук и др. [16, 3]. Продукты амплификации маркеров TNAC1204 и TNAC1176 рестрицировали с помощью эндонуклеазы рестрикции BsuR I при температуре 37°C в течение ночи.

Определение аллельного состояния гена *Ppd-D1* проводили с помощью праймеров Ppd-D1_F, Ppd-D1_R1, Ppd-D1_R2 [9].

Продукты ПЦР разделяли в 2%-ном агарозном геле в буфере TBE и окрашивали бромистым этидием для последующей визуализации в УФ-трансиллюминаторе.

Результаты и их обсуждение

Распространение замещения 2R/2D

Распространение замещения 2R/2D определялось среди 86 сортов и линий коллекции яровой гексаплоидной тритикале кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Достоверно определить наличие или отсутствие замещения 2R/2D можно при использовании набора маркеров на микросателлиты: Xwmc111 (2DS, 11 сМ по карте сцепления), Xgwm349 (2DL, 93,2 сМ) и Sec2 (2RS) [8, 12, 15]. С помощью этих маркеров в нашей коллекции обнаружено замещение 2R/2D у 17 (19,5%) образцов (табл.). У этих образцов также было проверено наличие хромосомы 1D для подтверждения того, что образцы несут замещение, а не полный набор хромосом генома D (октоплоиды). Для выявления хромосомы 1D использовались два микросателлитных маркера: Xbarc271 (1DL) и Xbarc149 (1DS). Амплификации данных маркеров не было ни у одного из образцов. На основании этого, а также фенотипической оценки растений можно считать, что выявленные образцы являются гексаплоидными и несут замещение 2R/2D.

Из 17 образцов с замещением 2R/2D 6 были получены нами из Мексики, 3 — из США, 2 — из Испании и по одному — из Чехословакии, Бурунди, Австралии и Беларуси. У двух российских линий присутствует хромосома 2D. Среди польских,

украинских, швейцарских, шведских и эфиопских сортообразцов замещение 2R/2D не выявлено.

Среди сортообразцов изучаемой коллекции замещение 2R/2D встречалось относительно часто (19,5%). Однако все образцы, несущие это замещение, являются селекционными линиями. Из 23 анализируемых коммерческих сортов не выявлено ни одного с замещением 2R/2D. Это может быть связано с какими-либо негативными эффектами замещения у яровой тритикале [8] или с селекционным процессом при получении сортов, в родословных которых отсутствовали образцы с замещениями.

Определение аллельного состояния гена Ppd-D1

Показано, что образцы озимой тритикале с замещением 2R/2D устойчивы к прорастанию на корню, имеют более короткую соломину, быстрее созревают и имеют более выполненное зерно [1, 4, 11, 14]. Это может быть обусловлено наличием хромосомы 2D как таковой [18] или тем, что на этой хромосоме локализован ген нечувствительности к фотопериоду *Ppd-D1*. Известно, что аллель *Ppd-D1a* оказывает сильное влияние на высоту растений, а также ускоряет наступление фазы цветения растений, уменьшая их жизненный цикл в среднем на неделю, и увеличивает урожайность [18, 19].

Образцы, несущие замещение 2R/2D, проверили на наличие аллеля нечувствительности к фотопериоду *Ppd-D1a*. У всех образцов с замещением был найден аллель *Ppd-D1b*, который не влияет на чувствительность к фотопериоду. А аллель *Ppd-D1a* был нами обнаружен только у сортообразца 131/7, несущего хромосому 2D и транслокацию T2RS.2RL-2BL [12]. Возможной причиной однообразия по гену *Ppd-D1* может быть то, что изначально было ограниченное количество образцов, несущих замещение 2R/2D, и именно от них происходило распространение замещения среди тритикале. Исключение, образец 131/7, было получено на кафедре генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева путем скрещивания гибридов F₁ (пшеница сорт Воронежская × яровая рожь сорт Селенга) с яровой тритикале (неизвестный образец). Единственный образец из исследуемой коллекции (131/7), несущий хромосому 2D с аллелем *Ppd-D1a*, в настоящее время проходит сортоиспытание (Соловьев А.А., личное сообщение).

Определение замещения у образца Л2412

При анализе на наличие замещения 2R/2D у образца Л2412 амплифицировались фрагменты молекулярных маркеров как с хромосомы 2D, так и с хромосомы 2R. Для выявления наличия целой хромосомы 2D были использованы еще 4 микросателлитных маркера на короткое и длинное плечи хромосомы 2D: Xbarc168 (2DS, 46,7 сМ по карте сцепления), Xgwm102 (2DS, 48,2 сМ), Xgwm484 (2DS, 40,7 сМ), Xgwm539 (2DL, 90,2 сМ). Были получены продукты амплификации со всех 4-х маркеров, т.е. образец Л2412 несет целую хромосому 2D. Чаще всего замещения происходят между гомеологичными хромосомами. Поэтому для выявления замещаемой хромосомы мы использовали маркеры PLUG на вторую гомеологичную группу хромосом.

Для выявления замещения были применены маркеры TNAC1176 на короткие плечи хромосом второй гомеологичной группы и TNAC1204 на длинные плечи с последующей обработкой амплифицированных фрагментов эндонуклеазой рестрикции VsuR I. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

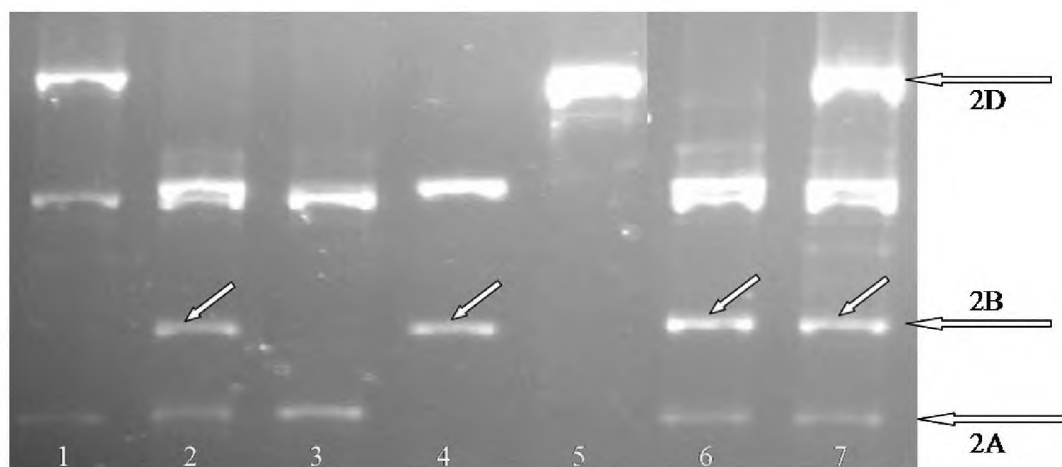


Рис. 1. Рестрицированные фрагменты продуктов ПЦР TNAC1176 с использованием эндонуклеазы рестрикции BsuR I: 1 — Л2412; 2 — *Triticosecale* Wittm. (AABBRR); 3 — *Triticum boeoticum* (AA); 4 — *Aegilops Aushceri* (BB); 5 — *Aegilops Taushii* (DD); 6 — *Triticum durum* (AABB); 7 — *Triticum aestivum* (AABBDD). Стрелками обозначены фрагменты, амплифицирующиеся с генома В

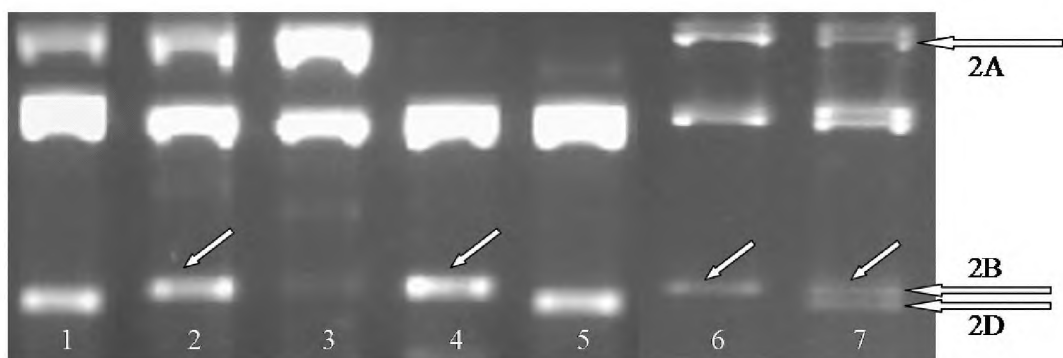


Рис. 2. Рестрицированные фрагменты продуктов ПЦР TNAC1204 с использованием эндонуклеазы рестрикции BsuR I: 1 — Л2412; 2 — *Triticosecale* Wittm. (AABBRR); 3 — *Triticum boeoticum* (AA); 4 — *Aegilops Aushceri* (BB); 5 — *Aegilops Taushii* (DD); 6 — *Triticum durum* (AABB); 7 — *Triticum aestivum* (AABBDD). Стрелками обозначены фрагменты, амплифицирующиеся с генома В

Из рисунка 2, где представлены рестрицированные фрагменты продуктов ПЦР TNAC1176 (короткие плечи хромосом второй гомеологической группы), следует, что у образца Л2412 отсутствует фрагмент, амплифицирующийся у *Aegilops Aushceri* (BB). На рисунке 3, где представлены результаты рестрикции продуктов TNAC1204 (длинные плечи хромосом второй гомеологической группы), у образца Л2412 также отсутствует фрагмент, амплифицирующийся у *Aegilops Aushceri* (BB). Таким образом, выявлено, что образец Л2412 несет замещение 2B/2D.

Замещение 2В/2D, представляет большой интерес с точки зрения влияния этого замещения на хозяйственно-ценные признаки яровой тритикале. Линия Л2412 является перспективной для использования ее в качестве донора в селекционном процессе, т.к. объединяет в себе хромосому 2R, положительно влияющую на устойчивость к биотическим и абиотическим факторам окружающей среды и хромосому 2D, на которой локализованы гены короткостебельности и чувствительности к фотопериоду.

Заключение

Таким образом, замещение 2R/2D выявлено у 17 из 63 селекционных линий яровой гексаплоидной тритикале. Среди 23 сортов, представленных в коллекции, это замещение не обнаружено. Аллель *Ppd-D1a* не был найден ни у одной из линий с замещением 2R/2D. Благодаря полученным данным селекционные линии, несущие замещение 2R/2D и 2В/2D, можно будет включать в схемы скрещиваний для переноса аллеля *Ppd-D1a*, а также для улучшения ряда хозяйственно-ценных признаков яровой гексаплоидной тритикале.

Библиографический список

1. Баженов М.С., Дивашук М.Г., Пыльнев В.В., Карлов Г.И., Рубец В.С. Изучение образцов озимой тритикале на наличие хромосомных замещений и их связь с устойчивостью к прорастанию на корню // Известия ТСХА. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. Вып. 2. С. 20–26.
2. Баженов М.С., Пыльнев В.В., Тараканов И.Г. Влияние факторов окружающей среды на покой семян и прорастание зерна в колосе озимой тритикале // Известия ТСХА. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. Вып. 6. С. 30–38.
3. Дивашук М.Г., Карлов Г.И., Соловьев А.А. Использование микросателлитных маркеров для идентификации пшенично-ржаной транслокации у гексаплоидной тритикале // Известия ТСХА. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2007. Вып. 1. С. 61–65.
4. Куркиев К.У. Характер наследования признака высота растения у образцов гексаплоидного тритикале // Исходный материал зерновых, овощных культур и проблемы селекции в условиях Южного Дагестана: Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. СПб.: ВИР, 2000. 158. С. 83–87.
5. Куркиев К.У., Тырышкин Л.Г., Колесова М.А., Куркиев У.К. Идентификация генов короткостебельности *Rht2* и *Rht8* у образцов гексаплоидного тритикале с помощью ДНК маркеров // Вестник ВОГиС. 2008. Т. 12. Вып. 3. С. 372–377.
6. Нгуен Т.Т. Линь, Митрошина О.В., Пыльнев В.В., Рубец В.С. Оценка устойчивости образцов коллекции озимой тритикале к прорастанию на корню // Известия ТСХА. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2011. Вып. 1. С. 71–84.
7. Ahmad M. Theoretical and Applied Genetics, 2000. V. 101. P. 892–896.
8. Bazhenov M.S., Divashuk M.G., Kroupin P.Yu., Pylnev V.V. and Karlov G.I. The effect of 2D(2R) substitution on agronomical traits of triticale in early generations of two connected crosses // Cereal Research Communications, 2014 (в печати).
9. Beales J., Turner A., Griffiths S., Snape J.W., Laurie D.A. A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2007. 115. P. 721–733.
10. Bernatzky R., Tanksley S.D. Genetics of actin-related sequences. Theoretical and Applied Genetics. 1986. 72. P. 314–321.
11. Budak H., Stephen B.P., Beecher B.S., Graybosch R.A., Campbell B.T., Shipman M.J., Erayman M., Eskridge K.M. The effect of introgressions of wheat D-genome chromosomes into «Presto» triticale // Euphytica, 2004. 137. P. 261–270.
12. Divashuk M.G., Kroupin P.Yu., Soloviev A.A., Karlov G.I. Molecular Cytogenetic Characterization of the Spring Triticale Line 131/7 Carrying a Rye–Wheat Translocation // Russian

Journal of Genetics. 2010. 46(2). P. 185–190. (Дивашук М.Г., Крупин П.Ю., Соловьев А.А., Карлов Г.И. Молекулярно-цитогенетическая характеристика линии яровой тритикале 131/7, несущей ржано-пшеничную транслокацию // Генетика. 2010. Т. 46. № 2. С. 211–217.)

13. Friebe B., Jiang J., Raupp W.J., McIntosh R.A., Gill B.S. Characterization of wheat–alien translocations conferring resistance to diseases and pests: current status // Euphytica. 1996. 91. P. 59–87.

14. Kurkiev K.U. Inheritance of Plant Height in Hexaploid Triticales with R/D Substitution // Russian Journal of Genetics. 2008. 44. P. 1080–1086. (Наследование высоты растения у гексаплоидных форм тритикале с замещением R/D // Генетика. 2008.)

15. Lapin D., Divashuk M., Soloviev A. The identification of D-genome in some spring triticales lines // Acta Agriculturae Serbica, 2007. 12. P. 41–50.

16. Lee J.H., Graybosch R.A., Lee D.J. Detection of rye chromosome 2R-using the polymerase chain reaction and sequence-specific DNA primers // Genome. 1994. 37. P. 19–22.

17. Lijun H.U., Guangrong L.I., Haihian Z., Cheng L., Zujun Y. New chromosome-specific molecular markers for identifying wheat–Thinopyrum intermedium derivative lines // Journal of Genetics. 2012. 91. P. 69–74.

18. Rebetzke G.J., Richards R.A. Gibberellic acid-sensitive dwarfing genes reduce plant height to increase kernel number and grain yield of wheat // Aust J Agric Res. 2000. 51. P. 235–245.

19. Worland A.J., Sayers E.J., Korzun V. Allelic variation at the dwarfing gene Rht8 locus and its significance in international breeding programmes // Euphytica. 2001. 119. P. 150–155.

20. Worland A.J. The influence of flowering time genes on environmental adaptability in European wheats // Euphytica. 1996. 89. P. 49–57.

DISTRIBUTION OF 2R/2D SUBSTITUTION IN SPRING HEXAPLOID TRITICALE (\times TRITICOSECALE WITTM.)

A.D. KORSHUNOVA, M.G. DIVASHUK, G.I. KARLOV, A.A. SOLOVIEV

(Russian Timiryazev State Agrarian University)

The 2R/2D substitution is widespread among winter hexaploid triticales (AABBRR) varieties and lines [1, 14]. This substitution helps to solve many problems such as excessive plant height, preharvest sprouting and late maturity. Also 2D chromosome in the genome of winter hexaploid triticales increases the yield of this crop and the quality of the grains [2, 11, 14].

Effect of 2D chromosome may be caused by the presence of the gene Ppd-D1. The dominant allele of this gene, Ppd-D1a, reduces wheat height by 10 cm and provides drought resistance [19; 20]. Also, the presence of Ppd-D1a provides increased yield by 9% in regions with a long day and up to 50% in regions with a short day environment.

Distribution of 2R/2D substitution is widely studied among winter triticales varieties and lines [1, 2, 14]. But such studies have not been conducted among spring triticales varieties and lines. In this paper, we examined the collection of spring hexaploid triticales for presence of 2R/2D substitution.

Analysis of 86 spring hexaploid triticales samples revealed the presence of substitution 2R/2D in 17 samples, all of them are breeding lines. Commercial varieties in our research did not have this substitution. The Ppd-D1a allele in lines with the substitution 2R/2D was not found. The substitution 2B/2D was found in one line.

Selection lines with 2R/2D and 2B/2D substitutions may be included in the scheme of crosses to carry allele Ppd-D1a, and to improve a number of agronomic characteristics of spring hexaploid triticale.

Key words: triticale, 2R/2D substitution, Ppd-D1, 2B/2D substitution, DNA markers.

Каршунова Анастасия Дмитриевна — асп. кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: korshunova.ad88@gmail.com).

Дивашук Михаил Георгиевич — к. б. н., ст. науч. сотр. Центра молекулярной биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: divashuk@gmail.com).

Карлов Геннадий Ильич — д. б. н., руководитель Центра молекулярной биотехнологии биотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550 Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: karlov@timacad.ru).

Соловьев Александр Александрович — д. б. н., проф., зав. кафедрой генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: asoloviev70@gmail.com).

Korshunova Anastasiya Dmitrievna — Phd student of the department of genetics, biotechnology, plant breeding and seed production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; e-mail: korshunova.ad88@gmail.com).

Divashuk Mikhail Georgievich — PhD in Biology, senior researcher of the Center of molecular biotechnology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; e-mail: divashuk@gmail.com).

Karlov Gennadiy Ilich — Doctor of Biological Sciences, Head of the Center of molecular biotechnology, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; e-mail: karlov@timacad.ru).

Soloviev Aleksandr Aleksandrovich — Doctor of Biological Sciences, professor, Head of the department of genetics, biotechnology, plant breeding and seed production, Russian Timiryazev State Agrarian University (127550, Moscow, Timiryazevskaya street, 49; e-mail: asoloviev70@gmail.com).