

УДК 633.11:575.1

## АЛЛЕЛЬНЫЕ ВАРИАНТЫ *Wx*-ГЕНОВ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ, ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В ПЕРМСКОМ КРАЕ И В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

© 2013 г. И.В. Бобошина<sup>1,2</sup>, С.В. Боронникова<sup>1,2</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,  
Пермь, Россия, e-mail: coccinela@yandex.ru;<sup>2</sup> Естественнонаучный институт ПГНИУ, Пермь, Россия

Поступила в редакцию 28 июня 2013 г. Принята к публикации 5 июля 2013 г.

В работе представлены результаты по изучению аллелей *Wx* генов 30 сортов *Triticum aestivum* L., возделываемых в Пермском крае и в Республике Башкортостан. С помощью двух молекулярных маркеров гена *Wx-A1* выявлено, что все данные сорта несут аллель дикого типа (*Wx-A1a*). Установлено, что сорта Башкирская 4, Башкирская 26 и Башкирская 28 характеризуются функциональным аллелем гена *Wx-B1* – *Wx-B1e*. Сорт Ульяновская 100 гетерозиготен, так как несет аллели *Wx-B1a* и *Wx-B1e*. У 30 изученных сортов не обнаружено нуль-аллелей гена *Wx-B1*. У всех изученных сортов по гену *Wx-D1* выявлены аллели только дикого типа.

**Ключевые слова:** *Triticum aestivum* L., мягкая пшеница, сорта, молекулярные маркеры, гены *Wx*.

### ВВЕДЕНИЕ

Мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) является одной из основных сельскохозяйственных культур мира. Содержание крахмала в эндосперме пшеницы мягкой составляет 67–72 % сухого вещества. Крахмал – полимер, состоящий из двух типов глюкозных углеводов – амилозы и амилопектина, соотношение которых определяет различия в температуре клейстеризации, вязкости крахмального клейстера, его текстуре и способности к гелеобразованию, устойчивости к механическим воздействиям и влиянию кислой среды (Nemery *et al.*, 2007).

Ключевым ферментом синтеза амилозы в гранулах крахмала является фермент GBSSI (GBSSI – Granule-bound starch synthase I), который также называют *Wx* протеином (Shure *et al.*, 1983). В геноме *T. aestivum* изоформы фермента GBSSI кодируют три гомеологичных гена (Nakamura *et al.*, 1993), получившие название *Wx* и расположенные в следующих хромосомах: 7AS (*Wx-A1*), 4AL (*Wx-B1*) и 7DS (*Wx-D1*). Каждый *Wx*-ген имеет два аллеля: ак-

тивный (*a*), кодирующий синтез определенного *Wx*-протеина, и неактивный (*b*), или нуль-аллель, который блокирует синтез *Wx*-протеина. Нефункциональные *b*-аллельные варианты локусов влияют на образование крахмала с пониженным содержанием амилозы (при наличии одного или двух нуль-аллелей), и состоящего только из амилопектина (когда во всех трех генах присутствуют нуль-аллели). Среди сортов пшеницы были найдены разные комбинации активных и неактивных *Wx*-аллелей (Nakamura *et al.*, 2002; Vanzetti *et al.*, 2009; Климушина и др., 2010, 2012; Saito *et al.*, 2010; Абдулина и др., 2013). Самое значительное снижение амилозы обуславливает наличие нуль-аллеля гена *Wx-B1* в сравнении с нуль-аллелями *Wx-A1* и *Wx-D1* (Игнатъева и др., 2009; Дивашук и др., 2011).

Изучение различных аллельных вариантов *Wx*-генов имеет большое значение в связи с их ценностью для пищевой промышленности, а также при получении биоэтанола (Nakamura *et al.*, 1995; Игнатъева и др., 2009; Дивашук и др., 2011). Соотношение амилоза/амилопектин в пшеничном крахмале определяет технологи-

ские свойства крахмала и муки, производимой из пшеницы мягкой. Крахмал Wx-пшеницы с нулевым содержанием амилозы очень чувствителен к механическому воздействию. При помоле происходит разрушение гранул крахмала, что увеличивает площадь поверхности и приводит к повышению водопоглотительной способности и амилолитической активности муки, создавая тем самым благоприятные условия для высокой активности дрожжей в тесте (Климушина и др., 2012). Мука из такой пшеницы характеризуется высокими показателями газообразующей способности и подъемной силы теста. Крахмал Wx-пшеницы значительно лучше выдерживает режим заморозки-разморозки, чем обычный крахмал. Данное свойство позволяет применять его для изготовления продуктов из замороженного и слоеного теста (Yamamori, Quynh, 2000; Петрова и др., 2007; Игнатьева и др., 2009; Климушина и др., 2012).

Наиболее широкое распространение для идентификации аллельных вариантов генов *Wx* в последнее время получили методы молекулярного маркирования (Nakamura *et al.*, 2002; Vanzetti *et al.*, 2009; Климушина и др., 2010, 2012; Saito *et al.*, 2010; Дивашук и др., 2011; Абдулина и др., 2013).

Идентификация сортов пшеницы мягкой с высокими технологическими свойствами зерна является актуальной задачей для Пермского края и Республики Башкортостан, относящимся к зоне рискованного земледелия, климат которых характеризуется продолжительной, холодной и снежной зимой, теплым коротким летом и ярко выраженными температурными инверсиями (Назаров, 2006; Российская..., 2010). Исследования генетической структуры локальных сортов пшеницы мягкой с помощью генетических методов необходимы для создания генетически обоснованных программ по выявлению генетической изменчивости, ее анализу в целях дальнейшего сохранения и использования, в том числе для нужд агропромышленного комплекса двух субъектов Российской Федерации.

Цель нашей работы – характеристика аллельных вариантов генов *Wx* сортов пшеницы мягкой, возделываемых в Пермском крае и в Республике Башкортостан. В результате данной работы получена информация о функциональ-

ных аллелях *Wx* генов, контролирующих содержание амилозы и амилопектина в зерновках 30 сортов пшеницы мягкой.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Растительный материал и выделение ДНК.

Материалом для исследования служили свежие листья 30 сортов *T. aestivum*, возделываемых в Пермском крае и Республике Башкортостан (Результаты сортоиспытания ..., 2011). Для молекулярно-генетического анализа были избраны допущенные к использованию (Государственный реестр ..., 2013) и находящиеся на испытании сорта пшеницы мягкой. Семена сортов были получены из ГНУ Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства РАСХН (г. Пермь), Ординского и Березовского сортоучастков ГСУ Пермского края и ГНУ Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (г. Уфа). Выделение ДНК проводили из проростков пшеницы, полученных в лабораторных условиях, по методике А. Торрес с соавт. (Torres *et al.*, 1993). Концентрацию и спектральные характеристики ДНК определяли на приборе Spectrofotometr TM NanoDrop 2000 («Thermo scientific», США). Геномная ДНК была разбавлена до концентрации 10 нг/мкл в ТЕ-буфере.

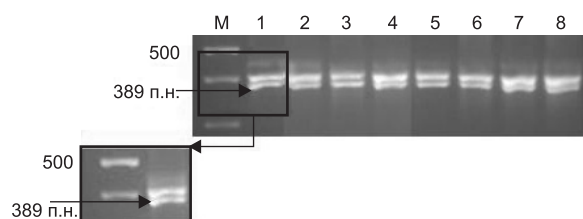
**Праймеры и условия ПЦР.** Праймеры, их последовательности и условия проведения полимеразной цепной реакции указаны в табл. 1. ПЦР проводили при условиях, рекомендуемых разработчиками праймеров. Амплификацию ДНК проводили в термоциклерах Gene Amp PCR System 9700 («Applied Biosystems», США) и MyCycler («BioRad», США). Для верификации полученных данных ПЦР проводили 3 раза. Реакционная смесь объемом 25 мкл содержала: 1 × буфер для *Taq*-ДНК-полимеразы, 1,0 U *Taq*-ДНК-полимеразы, 200 мМ каждого dNTP («Силекс», Москва), 0,2 мМ каждого праймера и 100–150 нг ДНК-матрицы. Концентрация хлорида магния составляла 2,5 мМ. Продукты ПЦР разделяли электрофорезом в 2–3 %-м агарозном геле в 1× TBE-буфере (Tris-Borate-EDTA), окрашивали бромистым этидием и фотографировали в проходящем ультрафиолетовом свете в системе гель-документации Gel Doc XR («BioRad», США). В качестве маркеров

Таблица 1

Праймеры и условия ПЦР для идентификации аллелей Waxy-генов

| Гены         | Праймеры                                                        | Последовательности праймеров 5'→3'                      | Условия ПЦР                                                                                   |
|--------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Wx-A1</i> | AFC<br>AR2<br>(Nakamura <i>et al.</i> , 2002)                   | TCGTGTTTCGTCGGCGCCGAGATGG<br>CCGCGCTTGTAGCAGTGGGAAGTACC | 95 °C – 5 мин; 32 цикла: 95 °C – 30 с, 65 °C – 30 с, 72 °C – 2 мин;<br>1 цикл: 72 °C – 7 мин  |
|              | Wx-A1b-F-MH<br>Wx-A1Bb-R-MH*<br>(Vanzetti <i>et al.</i> , 2009) | CCCCAAAGCAAAGCAGGAAAC<br>CGGCGTCGGGTCCATAGATC           | 94 °C – 3 мин; 40 циклов: 94 °C – 45 с, 55 °C – 30 с, 72 °C – 60 с;<br>1 цикл: 72 °C – 7 мин  |
| <i>Wx-B1</i> | BDFL<br>BRD<br>(Nakamura <i>et al.</i> , 2002)                  | CTGGCCTGCTACCTCAAGAGCAACT<br>CTGACGTCCATGCCGTTGACGA     | 95 °C – 5 мин; 32 цикла: 95 °C – 30 с, 65 °C – 30 с, 72 °C – 2 мин;<br>1 цикл: 72 °C – 7 мин  |
|              | Wx-B1L<br>Wx-B1R<br>(Vanzetti <i>et al.</i> , 2009)             | CGCAGGGGAAGACGTGGT<br>CGTTGACGATGCCGGTGATG              | 95 °C – 5 мин; 32 цикла: 95 °C – 30 с, 65 °C – 30 с, 72 °C – 2 мин;<br>1 цикл: 72 °C – 7 мин  |
| <i>Wx-D1</i> | BDFL<br>DRSL<br>(Nakamura <i>et al.</i> , 2002)                 | TAGTGCCTCCAGACTCACAG<br>GAGATGGTCAAGAACTGCAT            | 94 °C – 5 мин; 32 цикла: 94 °C – 30 с, 58 °C – 30 с, 72 °C – 120 с;<br>1 цикл: 72 °C – 7 мин  |
|              | Wx-D1-1-F<br>Wx-D1-1-R<br>(Vrinten <i>et al.</i> , 1999)        | CTGGCCTGCTACCTCAAGAGCAACT<br>CTGTTTACCATGATCGTCTCCCTT   | 95 °C – 3 мин; 40 циклов: 94 °C – 30 с, 55 °C – 45 с, 72 °C – 1 мин;<br>1 цикл: 72 °C – 7 мин |

\* После амплификации проводился гидролиз ПЦР-продукта эндонуклеазой рестрикции *Hind*III («Fermentas», Литва) при 37 °C в течение 5 ч. Фрагменты ДНК, полученные в результате гидролиза, разделяли в агарозном геле.



**Рис. 1.** Фрагмент электрофореграммы продуктов ПЦР, полученных с праймерами AFC и AR2.

1 – сорт Московская 39; 2 – сорт Волжская К; 3 – сорт Иргина; 4 – сорт Ирень; 5 – сорт Стрела; 6 – сорт Красноуфимская 100; 7 – сорт Свеча; 8 – сорт Горноуральская; М – маркер длины фрагментов ДНК. Стрелкой указан фрагмент, характерный для аллеля *Wx-A1a*.

длины фрагментов ДНК использовали маркеры молекулярной массы 100 bp + 50 bp DNA Ladder (ООО «СибЭнзим-М», Москва) и 100 bp GeneRuler («Fermentas», Литва).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

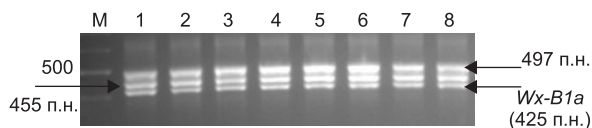
**Ген *Wx-A1*.** Для идентификации гена *Wx-A1* и верификации полученных результатов были использованы две пары праймеров. При использовании праймеров AFC и AR2 при наличии аллеля дикого типа амплифицирова-

лись фрагменты размером 389 п.н. (*Wx-A1a*), а при наличии нуля-аллеля – 370 п.н. (*Wx-A1b*) (Nakamura *et al.*, 2002). При применении этих праймеров у изученных 30 сортов *T. aestivum* идентифицирован аллель *Wx-A1a* (рис. 1).

Праймеры Wx-A1b-F-MH и Wx-A1Bb-R-MH амплифицируют фрагмент 671 п.н. у растений, несущих аллель *Wx-A1a*, и фрагмент 652 п.н. у растений, несущих аллель *Wx-A1b* (Vanzetti *et al.*, 2009). Продукты амплификации аллелей *Wx-A1a* (671 п.н.) и *Wx-A1b* (652 п.н.) трудно различимы в агарозном геле, поэтому применялась рестриктаза *Hind*III к последовательности от аллеля *Wx-A1a*, который разделяет фрагмент 671 п.н. на два фрагмента – 495 п.н. и 176 п.н. У последовательности аллеля *Wx-A1b* рестрикция отсутствует. При использовании праймеров Wx-A1b-F-MH и Wx-A1Bb-R-MH у изученных 30 сортов установлен аллель *Wx-A1a*.

Таким образом, изученные нами 30 возделываемых в Пермском крае и в Республике Башкортостан сортов *T. aestivum* несут аллели дикого типа *Wx-A1a*.

**Ген *Wx-B1*.** Для идентификации гена *Wx-B1* и верификации полученных результатов были также использованы две пары праймеров. При



**Рис. 2.** Фрагмент электрофореграммы продуктов ПЦР, полученных с праймерами BDFL и BRD.

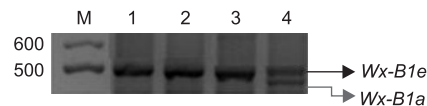
1, 2 – сорт Ватан; 3, 4 – сорт Тулайковская Золотистая; 5, 6 – сорт Тулайковская 10; 7, 8 – сорт Тюменская 31; М – маркер длины фрагментов ДНК.

использовании праймеров BDFL и BRD при наличии аллеля дикого типа (*Wx-B1a*) амплифицировались три фрагмента размером 497 п.н., 455 п.н. и 425 п.н. (Nakamura *et al.*, 2002). При наличии нуль-аллеля (*Wx-B1b*) при амплификации в геле идентифицировались только два фрагмента, самый легкий фрагмент (425 п.н.) отсутствовал. У всех изученных сортов детектирован фрагмент 425 п.н., что указывает на наличие аллеля *Wx-B1a* (рис. 2).

Праймеры Wx-B1L и Wx-B1R (Vanzetti *et al.*, 2009) амплифицировали фрагмент ДНК размером 461 п.н., который соответствует функциональному аллелю *Wx-B1a*, а отсутствие амплифицированного фрагмента указывает на наличие нуль-аллеля *Wx-B1b*. Кроме того, при применении этих праймеров на геле может быть виден фрагмент немного большей длины по сравнению с аллелем дикого типа – 495 п.н., характерный для функционального аллельного варианта *Wx-B1e*. Анализ наших сортов показал, что 26 сортов являются носителями аллеля *Wx-B1a*, 3 сорта (Башкирская 4, Башкирская 26 и Башкирская 28) несут функциональный аллель *Wx-B1e*. Сорт Ульяновская 100 оказался гетерозиготой, несущей как аллель *Wx-B1a*, так и аллель *Wx-B1e* (рис. 3).

Таким образом, изученные нами сорта *T. aestivum* характеризуются различными функциональными аллельными вариантами гена *Wx-B1*.

**Ген *Wx-D1*.** Для определения аллельного состояния гена *Wx-D1* использовались два молекулярных маркера (Nakamura *et al.*, 2002). При использовании праймеров BDFL и DRSL при наличии аллеля дикого типа амплифицировались фрагменты размером 2307 п.н. (*Wx-D1a*), а при наличии нуль-аллеля – 1731 п.н. (*Wx-D1b*). Из изученных нами 30 сортов *T. aestivum* у 28 отмечен аллель дикого типа, а у 2 сортов



**Рис. 3.** Фрагмент электрофореграммы продуктов ПЦР, полученных с праймерами Wx-B1L и Wx-B1R.

1 – сорт Башкирская 4; 2 – сорт Башкирская 26; 3 – сорт Башкирская 28; 4 – сорт Ульяновская 100; М – маркер длины фрагментов ДНК. Темной стрелкой указан фрагмент, характерный для аллеля *Wx-B1e*, светлой стрелкой – фрагмент, характерный для аллеля *Wx-B1a*.

(Московская 39 и Иргина) в агарозном геле не выявлено амплифицированных фрагментов ДНК, что может быть вызвано ингибированием ПЦР в отдельных образцах некоторых сортов (Nakamura *et al.*, 2002) и согласуется с литературными данными.

Праймеры Wx-D1-1-F и Wx-D1-1-R (Vrinten *et al.*, 1999) у сортов, несущих аллель дикого типа, амплифицируют фрагменты размером 930 п.н. (*Wx-D1a*), а у сортов, несущих нуль-аллель, – 342 п.н. (*Wx-D1b*). Было показано, что все исследуемые нами сорта несли аллели *Wx-D1a*, т. е. аллели дикого типа.

Таким образом, у изученных нами 30 возделываемых в Пермском крае и в Республике Башкортостан сортов *T. aestivum* выявлены аллели дикого типа *Wx-D1a*.

При молекулярно-генетическом анализе 30 сортов мягкой пшеницы, возделываемых в Пермском крае и в Республике Башкортостан, показано, что все сорта являются носителями аллелей *Wx-Ala* и *Wx-D1a*, 3 сорта имеют аллели *Wx-B1e* гена *Wx-B1* и растения одного сорта являются гетерозиготами, несущими аллели *Wx-B1a* и *Wx-B1e* гена *Wx-B1*. В то же время Т. Накамура с соавт. (Nakamura *et al.*, 1992) и М. Ямамори с соавт. (Yamamori *et al.*, 1994) показали, что в коллекциях сортов пшеницы азиатских стран обнаруживалось до 20 % сортов, несущих нуль-аллели по генам *Wx-A1* и *Wx-B1*. М. Климушина с соавт. (Климушина и др., 2012) отметили, что пониженное содержание амилозы, которое обусловливается наличием нуль-аллелей *Wx* генов, оказывает выраженное положительное влияние на качество лапши удон, основного продукта, на производство которого используется мягкая пшеница в азиатских странах. В России же мягкая пшеница в основном используется для выпечки хлеба. В этом случае наличие только

**Таблица 2**  
Аллельные варианты *Waxy*-генов  
у изученных сортов *T. aestivum*

| Сорт               | <i>Wx-A1</i> | <i>Wx-B1</i> | <i>Wx-D1</i> |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| Московская 39      | <i>a</i>     | <i>a</i>     | *            |
| Волжская К         | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Иргина             | <i>a</i>     | <i>a</i>     | *            |
| Ирень              | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Стрела             | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Красноуфимская 100 | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Свеча              | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Горноуральская     | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Терция             | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Экада 70           | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Экада 109          | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Штру 0622071       | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Штру 0521911       | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Икар               | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Баженка            | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Гамлет             | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Диаблон            | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Терси              | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Уралосибирская     | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Ярица              | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Красноуфимская 110 | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Башкирская 4       | <i>a</i>     | <i>e</i>     | <i>a</i>     |
| Башкирская 26      | <i>a</i>     | <i>e</i>     | <i>a</i>     |
| Башкирская 28      | <i>a</i>     | <i>e</i>     | <i>a</i>     |
| Жница              | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Фотос              | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Тюменская 31       | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Сударыня           | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |
| Ульяновская 100    | <i>a</i>     | <i>a/e</i>   | <i>a</i>     |
| ЦХ Кампала         | <i>a</i>     | <i>a</i>     | <i>a</i>     |

Примечание. \* – для генов *Wx-D1a* и *Wx-D1b* амплифицированных фрагментов ДНК не выявлено.

одного нуль-аллеля не оказывает выраженного положительного влияния на хлебопекарные качества пшеницы. Кроме того, М. Климушина с соавт. (Климушина и др., 2012) заметили, что следует учитывать, что основные источники нуль-аллелей – это белозерные сорта азиатского происхождения, а в России селекция пшеницы традиционно ориентируется на краснозерные сорта ввиду ряда их преимуществ в нашей климатической зоне. В связи с этим и вероятность привнесения нуль-аллеля в результате селекционных скрещиваний была крайне мала. Следует также отметить, что нуль-аллель гена

*Wx-D1* крайне редко встречается у образцов мягкой пшеницы (Климушина и др., 2010).

У изученных сортов *T. aestivum* были детектированы чаще всего аллели дикого типа *Waxy*-генов (табл. 2). Кроме того, была обнаружена дополнительная генетическая изменчивость в локусах *Wx-B1*, а именно аллель *Wx-B1e*.

Аллель *Wx-B1e* в сортах Башкирская 4, Башкирская 26 и Башкирская 28, вероятнее всего, был получен от родительских форм. Так, например, сорт Башкирская 4 получен от скрещивания сортов пшеницы мягкой Саратовская 46 и линии твердой пшеницы (<http://www.bniish.ru>). Влияние аллеля *Wx-B1e* на содержание амилозы в крахмале пшеницы до конца еще не изучено (Климушина и др., 2012). Для интерпретации полученных фрагментов сорта Ульяновская 100 нами планируется проведение дальнейшего анализа с определением нуклеотидных последовательностей.

Таким образом, при молекулярно-генетическом анализе возделываемых в Пермском крае и в Республике Башкортостан сортов пшеницы мягкой был изучен полиморфизм по генам *Wx* с использованием ПЦР. Среди 30 изученных сортов *T. aestivum* не были детектированы нуль-аллели по генам *Wx-A1*, *Wx-B1* и *Wx-D1*. Вместе с тем установлена дополнительная генетическая изменчивость в локусах гена *Wx-B1* 3 сортов *T. aestivum*.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам ГНУ Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства РАСХН (г. Пермь), Ординского и Березовского сортоучастков ГСУ Пермского края и ГНУ Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (г. Уфа) за предоставление сортов пшеницы мягкой, возделываемых на Урале. Искренне благодарим рецензентов данной работы за ценные замечания.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием на оказание услуг, частично финансируемых Министерством образования и науки РФ из средств федерального бюджета, на оборудовании, закупленном в ходе реализации проекта развития Пермского национального исследовательского университета.

## ЛИТЕРАТУРА

- Абдулина И.Р., Вафин Р.Р., Ржанова И.В. и др. Молекулярная идентификация генотипов яровой пшеницы по аллельным вариантам *Waxy*-генов // Фундаментальные исследования. 2013. № 1. С. 13–17.
- Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М., 2013. 392 с.
- Дивашук М.Г., Климушина М.В., Карлов Г.И. Молекулярно-генетическая характеристика аллеля *Wx-Ble* мягкой пшеницы и применимость ДНК-маркеров для его идентификации // Генетика. 2011. Т. 47. № 12. С. 1611–1615.
- Игнатъева Н.Г., Васюшкина Н.Е., Кравченко Н.С. и др. Генетический полиморфизм амилолитических ферментов зерна пшеницы и генетика ферментов биосинтеза крахмала // Зерновое хозяйство России. 2009. № 4. С. 22–26.
- Климушина М.В., Крупин П.Ю., Дивашук М.Г. и др. Об оптимизации систем молекулярного маркирования *Waxy*-генов пшеницы для целей MAS-селекции // С.-х. биология. 2010. № 5. С. 36–41.
- Климушина М.В., Гладких Н.И., Дивашук М.Г. и др. Распределение аллелей генов *Wx* в коллекции мягкой пшеницы Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко // Вавилов. журн. генет. и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 187–192.
- Назаров Н.Н. География Пермского края. Ч. I. Природная (физическая) география. Пермь, 2006. 139 с.
- Петрова И.В., Чеботарь С.В., Рыбалка А.И. и др. Идентификация *Wx*-генотипов среди сортов озимой мягкой пшеницы // Цитология и генетика. 2007. № 6. С. 11–17.
- Результаты сортоиспытания сельскохозяйственных культур на госсортоучастках Пермского края за 2011 год: брошюра. Пермь, 2011. 73 с.
- Российская газета: регион Республика Башкортостан. 2010. № 129 (5208). С. 2.
- Hemery Y., Rouau X., Lullien-Pellerin V. *et al.* Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality // J. Cereal Sci. 2007. No. 46. P. 327–347.
- Nakamura T., Yamamori M., Hidaka S. *et al.* Expression of HMW *Wx* protein in Japanese common wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars // Jpn. J. Breed. 1992. V. 42. P. 681–685.
- Nakamura T., Yamamori M., Hoshino H. *et al.* Identification of three *Wx* proteins in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Biochem. Genet. 1993. 31. P. 75–86.
- Nakamura T., Yamamori M., Hirano H. *et al.* Production of waxy (amylose-free) wheats // Mol. Gen. Genetics. 1995. V. 248. P. 253–259.
- Nakamura T., Vrinten P., Saito M. *et al.* Rapid classification of partial waxy wheats using PCR-based markers // Genome. 2002. V. 45. P. 1150–1156.
- Saito M., Vrinten P., Nakamura T. DNA markers for identifying waxy mutations and improving noodle quality in wheat // JARQ. 2010. No. 44 (2). P. 109–115.
- Shure M., Wessler S., Fedoroff N. Molecular identification and isolation of *waxy* locus in maize // Cell. 1983. V. 35. P. 225–233.
- Torres A.M., Weeden N.F., Martin A. Linkage among sozyme, RFLP and RAPD markers in *Vicia faba* // Theor. Appl. Genet. 1993. V. 5. P. 937–945.
- Vanzetti L.S., Pflüger L.A., Rodriguez-Quijano M. *et al.* Genetic variability for *waxy* genes in Argentinean bread wheat germplasm // Electronic J. Biotechnol. 2009. V. 12. P. 1–9.
- Vrinten P., Nakamura T., Yamamori M. Molecular characterization of waxy mutations in wheat // Mol. Gen. Genetics. 1999. V. 261. P. 463–471.
- Yamamori M., Nakamura T., Endo T.R. *et al.* Waxy protein deficiency and chromosomal location of coding genes in common wheat // Theor. Appl. Genet. 1994. V. 89. P. 179–184.
- Yamamori M., Quynh N.T. Differential effects of *Wx-A1*, *-B1* and *-D1* protein deficiencies on apparent amylase content and starch pasting properties in common wheat // Theor. Appl. Genet. 2000. V. 100. P. 32–38.

# ALLELIC VARIANTS OF *WAXY* GENES IN *TRITICUM AESTIVUM* L. CULTIVARS GROWN IN THE PERM REGION AND BASHKIRIA

I.V. Boboshina<sup>1,2</sup>, S.V. Boronnikova<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Perm State University, Perm, Russia, e-mail: coccinela@yandex.ru;

<sup>2</sup> Institute of Natural Science of Perm State University, Perm, Russia

## Summary

Molecular marker-based identification of allelic variants of *Waxy* genes has been performed in a collection of 30 common wheat varieties grown in the Perm region and Bashkiria. Genotyping with two molecular marker sets shows that all these cultivars bear the wild-type allele of the *Wx-A1* gene; cvs. Bashkirskaya 4, Bashkirskaya 26, and 'Bashkirskaya 28 possess the functional allele of the *Wx-B1* gene, *Wx-B1e*; and Ul'yanovskaya 100 is heterozygous, possessing *Wx-B1a* and *Wx-B1e*. No varieties with null-alleles of *Wx-B1* have been found. Only wild-type alleles are present in the *Wx-D1* locus.

**Key words:** *Triticum aestivum* L., common wheat, cultivars, molecular markers; *Waxy* genes.