

6. Лапочкина И.Ф., Баранова О.А, Шаманин В.П., Волкова Г.В., Гайнуллин Н.Р., Анисимова А.В., Галингер Д.Н., Лазарева Е.Н., Гладкова Е.В., Ваганова О.Ф. Создание исходного материала яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), в том числе и к расе Ug99, в России. //Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016:20(3):320-328.

7. Лапочкина И.Ф., Баранова О.А, Гайнуллин Н.Р., Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Ковалева Е.А., Осипова А.В. Создание линий озимой пшеницы с несколькими генами устойчивости к *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici* для использования в селекционных программах России. //Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018:22(6):676-684.

8. Лапочкина И.Ф., Гайнуллин Н.Р., Баранова О.А., Коваленко Н.М., Марченкова Л.А., Павлова О.В., Митрошина О.В. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам.//Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021:25(7):721-729.

УДК 631.524.01

Идентификация аллельного разнообразия генов короткостебельности у образцов ярового ячменя коллекции ВИР.

Лукина К.А., Поротников И.В., Антонова О.Ю., Ковалева О.Н.

Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова» (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

Ключевые слова: ячмень, короткостебельность, устойчивость к полеганию.

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) является одной из важнейших зерновых культур, которая активно высевается в РФ и других странах мира на кормовые, производственные и пищевые цели. Однако ее потенциал не реализуется в полной мере из-за полегания растений. Низкая устойчивость к полеганию может значительно снизить урожайность и качество зерна в результате развития болезней и прорастания зерна на корню, а также приводит к затруднению механизированной уборки [1].

Одно из направлений селекции ячменя – создание устойчивых к полеганию сортов. Определяющее значение для неполегающих сортов имеет длина стебля. У ячменя обнаружено более 10 генов, приводящих к уменьшению высоты растений, однако, из-за негативного плейотропного эффекта лишь немногие из них используются в селекции [2].

Наиболее изучены и широко используются в селекционных программах гены *sdw1/denso* (*HvGA20ox2*), *uzu1* (*HvBRI1*) и *ari-e* (*HvDep1*). Для гена *sdw1/denso* описано 4 различных аллеля, приводящих к редукции высоты растений: *sdw1.d*, *sdw1.a*, *sdw1.e* и *sdw1.c* [2, 3]. Для гена *ari-e* наиболее известен аллель *ari-e.GP*, обнаруженный в английском сорте Golden Promise [4]. Для гена *uzu1* (*HvBRI1*) в селекции используется аллель *uzu1.a*, распространенный в японских сортах [5, 6].

Уникальные образцы ячменя с укороченной соломиной и с идентифицированными аллелями короткостебельности хранятся и изучаются в различных генетических банках, в том числе и в Мировой коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. (ВИР).

Цель данного исследования: проведение молекулярного скрининга мировой коллекции ячменя ВИР для идентификации аллелей генов *sdw1/denso*, *uzu1* и *ari-e*.

Материалы и методы. Для скрининга отобрано 40 образцов ячменя, преимущественно с укороченной соломиной. В качестве контролей использовали ранее составленный набор сортов и почти изогенных линий, характеризующихся наличием аллелей *sdw1.a*, *sdw1.c*, *sdw1.d* гена *HvGA20ox2*, аллеля *uzu1.a* гена *HvBRI1* и аллеля *ari-e.GP* гена *HvDep1*. Фенотипирование образцов проводилось в соответствии с «Методическими указаниями по

изучению мировой коллекции ячменя и овса ВИР» [7]. Образцы высевали на делянках площадью 1 кв. м в 2021-2023 гг. на полях НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Среднюю высоту растений измеряли от поверхности почвы до вершины колоса в центре делянки. Устойчивость к полеганию оценивали в течение вегетационного периода глазомерно по шкале от 1 (очень низкая) до 9.

Идентификация аллелей короткостебельности проведена на индивидуальных растениях, по три растения для каждого образца. Выделение ДНК осуществляли из верхних листьев растений, собранных в стадию колошения в полевых условиях, с использованием метода SDS-экстракции [8]. Для молекулярного скрининга ячменя подобраны внутригенные ДНК-маркеры к аллелям *sdw1.a*, *sdw1.c*, *sdw1.d* и *sdw1.e* (ген *HvGA20ox2*) и *uzu1.a* (*HvBR11*), взятые из литературных источников [3, 6, 9], а также разработанные нами для аллелей *sdw1.c* и *ari-e.GP*.

Результаты. В результате молекулярного скрининга для 40 образцов ярового ячменя из коллекции ВИР были выделены следующие группы (таблица 1):

- 15 % образцов характеризовались наличием аллеля *sdw1.d* гена *sdw1/denso*, все они относятся к сортам Европейской и Австралийской селекции;
- 10 % образцов характеризовались наличием протяженной делеции, затрагивающей ген *HvGA20ox2*, то есть предположительно несли аллель *sdw1.a/sdw1.e*. По происхождению это образцы шестирядного ячменя из Китая, Индии и США;
- 10 % образцов характеризуются сочетанием аллелей двух разных генов *sdw1.c* (ген *HvGA20ox2*) и *uzu1.a* (*HvBR11*), они относятся к шестирядным голозерным формам из Японии;
- 5 % набора составили образцы с аллелем *sdw1.c*;
- у 32,5 % образцов был выявлен не описанный ранее в литературе аллель гена *sdw1/denso*, который отличается от аллеля *sdw1.c* большим размером ПЦР продуктов, генерируемых теми же праймерами. Это может свидетельствовать о наличии инсерций в последовательности гена *sdw1/denso*. Наличие такой инсерции подтверждено с помощью двух ДНК-маркеров: из литературы и разработанного нами dCAPS-маркера. Данный аллель был обнаружен в основном у местных образцов ярового ячменя различного эколого-географического происхождения;
- В изученной выборке не выявлено образцов с аллелем *ari-e.GP* (*HvDep1*), который обнаружен только у контрольного сорта Golden Promise;
- 27,5 % образцов выборки не показали наличия изученных нами аллелей, вероятно, сниженная высота растений определяется у них другими генами/ аллелями.

Для каждой из выделенных групп в таблице 1 приведены данные по высоте и по устойчивости к полеганию. Засушливое лето 2021 г. оказало сильное влияние на высоту растений, что не позволило выявить образцы, устойчивые к полеганию. Погодные условия 2022-23 гг., близкие к среднему многолетним, с ливневыми дождями и ураганами в период вегетации создали благоприятный фон для выявления устойчивых к полеганию форм. Образцы ячменя с аллелями *sdw1.d*, *sdw1.a/sdw1.e* гена *sdw1/denso* (*HvGA20ox2*) характеризуются средней устойчивостью к полеганию. Группы образцов с аллелем *sdw1.c* (ген *HvGA20ox2*) и с аллелем *sdw1.c* (ген *HvGA20ox2*) в сочетании с аллелем *uzu1.a* (ген *HvBR11*) обладают высокой устойчивостью к полеганию. Образцы с новым аллелем при различных погодных условиях не сохраняют высокую устойчивость к полеганию, их устойчивость по данным 2022-2023 гг. была средняя и низкая.

Таблица 1. Характеристика низкорослых образцов ячменя по аллелям короткостебельности и устойчивости к полеганию

Группа по аллелям генов	Процентное соотношение образцов	Высота, см			Устойчивость к полеганию, балл		
		2021	2022	2023	2021	2022	2023
Аллель <i>sdw1.d</i> гена <i>sdw1/denso</i> (<i>HvGA20ox2</i>)	15	49±5,7	59±1,1	63±5,3	7-9	9	5-7
Аллель <i>sdw1.a/sdw1.e</i> гена <i>sdw1/denso</i> (<i>HvGA20ox2</i>)	10	43±1,5	53±2,7	54±2,2	7-9	9	5-7
Аллели <i>sdw1.c</i> (ген <i>HvGA20ox2</i>) и <i>uzu1.a</i> (ген <i>HvBR11</i>)	10	26±1,8	46±2,7	42±3,9	9	9	7
Аллель <i>sdw1.c</i> (ген <i>HvGA20ox2</i>)	5	35±8,4	48±11,2	59±3,7	9	9	7
Уникальный аллель гена <i>HvGA20ox2</i>	32,5	47±2,2	66±4,4	69±3,6	9	5	3
Не выявлено изученных аллелей короткостебельности	27,5	49±3,5	57±3,6	58±4,6	9	7	5

Выводы. По результатам молекулярного скрининга 40 образцов ярового ячменя, изучаемый набор разделен по генотипам на 6 групп с различными аллелями короткостебельности и их сочетаниями. Наличие аллелей короткостебельности у всех генотипов определяет среднюю устойчивость к полеганию, независимо от влияния погодных условий. Образцы с выявленными аллелями генов *sdw1/denso* (ген *HvGA20ox2*) и *uzu1* (ген *HvBR11*) рекомендуется использовать как источники короткостебельности и устойчивости к полеганию в селекционном процессе.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по соглашению № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021 г.

Список литературы:

1. Ковригина Л.Н., Заушинцена А.В. Источники устойчивости ярового ячменя к полеганию. *Вестник КрасГАУ*. 2010. №1. С. 57-62.
2. Kuczynska A, Surma M, Adamski T, Mikolajczak K, Krystkowiak K, Ogradowicz P. Effects of the semi-dwarfing *sdw1/denso* gene in barley. *J Appl Genet*. 2013. 54(4), 381-90. doi: 10.1007/s13353-013-0165-x.
3. Jia Q., Zhang J., Westcott S., Zhang X.Q., Bellgard M., Lance R., Li C. *GA-20 oxidase* as a candidate for the semidwarf gene *sdw1/denso* in barley. *Functional & integrative genomics*. 2009. 9(2), 255-262. DOI: 10.1007/s10142-009-0120-4.
4. Wendt T., Holme I., Dockter C., Preub A., Thomas W., Druka A., et al. *HvDep1* Is a Positive Regulator of Culm Elongation and Grain Size in Barley and Impacts Yield in an Environment-Dependent Manner. *PLoS ONE*. 2016. 11 (12): e0168924. doi:10.1371/journal.pone.0168924
5. Chono M., Honda I., Zeniya H., Yoneyama K., Saisho D., Takeda K., et al. A semi-dwarf phenotype of barley *uzu* results from a nucleotide substitution in the gene encoding a putative brassinosteroid receptor. *Plant Physiol*. 2003. 133: 1209–1219. PMID: 14551335.

6. Saisho D., Tanno K.I., Chono M., Honda I., Kitano H., Takeda, K. Spontaneous brassinolide-insensitive barley mutants 'uzu' adapted to East Asia. *Breeding science*. 2004. 54(4), 409-416. DOI: 10.1270/jsbbs.54.409.
7. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса / под ред. И.Г. Лоскутова. Санкт-Петербург: ВИР. 2012.
8. Дорохов Д.Б., Клоке Э. Быстрая и экономичная технология RAPD анализа растительных геномов. *Генетика*. - 1997. - Т. 33 (№ 4). - С. 443-450.
9. Алабушев, А.В., Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Донцов Д.П., Перчук И.Н., Архимандритова С.Б. Влияние нуклеотидного полиморфизма гена *sdw1/denso* на изменчивость основных хозяйственно-ценных признаков озимого ячменя. *Земледелие*. 2019. 8, 38-42. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10809.

УДК 575.116.4:312.32.633.16

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНОГО СОРТОВОГО КОНТРОЛЯ ПАРТИЙ ТОВАРНОГО ЗЕРНА ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ МАРКЕРОВ

*Елена Владимировна Лялина, Надежда Алексеевна Терещенко, Елена Юрьевна Яковлева,
Андрей Анатольевич Поморцев*

Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты использования электрофоретического анализа гордеина в лабораторном сортовом контроле товарных партий зерна пивоваренного ячменя с 2018 по 2022 гг. Установлено, что за последние 5 лет доля партий с сортовой чистотой более 95 % и более снизилась с 67 % в 2018 г. до 54 % в 2022 г. Минимальная доля партий пивоваренного ячменя не соответствующих заявленным сортам выявлена в 2020 г. (3 %), а максимальная – в 2021 г. (7 %). Рассмотрена возможность использования дополнительных генетических маркеров для дифференциации сортов с идентичными электрофоретическими спектрами гордеинов.

Ключевые слова: яровой ячмень, лабораторный сортовой контроль, генетические маркеры, полиморфизм гордеинов

RESULTS OF LABORATORY VARIETAL CONTROL OF COMMERCIAL BREWING BARLEY GRAIN SEMPLS USING GENETIC MARKERS

*Elena Vladimirovna Lyalina, Nadezhda Alekseevna Tereshchenko, Elena Yuryevna Yakovleva,
Andrey Anatolyevich Pomortsev*

Vavilov Institute of General Genetics Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. This paper presents the results of using electrophoretic analysis of hordein in laboratory varietal control of commercial batches of malting barley grain from 2018 to 2022. It has been established that over the past 5 years, the share of batches with varietal purity of more than 95% has decreased from 67% in 2018 to 54% in 2022. The minimum proportion of batches of malting barley that do not correspond to the declared varieties was identified in 2020 (3%), and maximum – in 2021 (7%). The possibility of using additional genetic markers to distinguish varieties with identical electrophoretic spectra of hordeins is considered.

Key words: spring barley, laboratory varietal control, genetic markers, hordein polymorphism

Введение. Ячмень – одна из наиболее важных сельскохозяйственных культур, которая с давних пор возделывается человеком для различных целей: производства кормов в животноводстве, производства муки, ячневой и перловой крупы, солода – основного сырья