ГЕНЕТИКА, 2021, том 57, № 9, с. 1054–1061

ГЕНЕТИКА РАСТЕНИЙ

УДК 575.116.4:312.32.633.16

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ МАРКЕРЫ В ЛАБОРАТОРНОМ СОРТОВОМ КОНТРОЛЕ ЯЧМЕНЯ (*Hordeum vulgare* L.)

© 2021 г. А. А. Поморцев[1, *], Е. В. Лялина[1], Н. А. Терещенко[1], С. В. Болдырев[2], Е. Ю. Яковлева[1], А. Н. Березкин[3], А. М. Малько[4], О. В. Андросова[4]

[1]*Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, 119991 Россия*

[2]*Сколковский институт науки и технологий, Москва, 143026 Россия*

[3]*Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, 127550 Россия*

[4]*Российский сельскохозяйственный центр, Москва, 107139 Россия*

**e-mail: pomortsev@vigg.ru*

Поступила в редакцию 04.12.2020 г.
После доработки 24.12.2020 г.
Принята к публикации 25.12.2020 г.

Методом электрофореза в крахмальном геле изучен полиморфизм гордеинов, контролируемых локусами *Hrd A, Hrd B* и *Hrd F*, в 259 сортах ярового ячменя, допущенных к использованию в Российской Федерации. Для локуса *Hrd A* обнаружен 21 аллель, для локуса *Hrd B* – 34 и для локуса *Hrd F* – 4 аллеля. Частоты аллелей этих локусов варьировали в пределах 0.4807–0.0039 (*Hrd A*), 0.2394–0.0039 (*Hrd B*) и 0.4633–0.0058 (*Hrd F*). Обнаруженный по локусам *Hrd* полиморфизм теоретически позволяет дифференцировать 2856 генотипов. Реально исследованные сорта по генотипам гордеин-кодирующих локусов распределились по 113 группам, включающим от 1 до 31 сорта. Самое большое число групп (77–68.15%) включало по одному сорту. Эти сорта по генотипам локусов *Hrd* были уникальными. Еще 18 групп (15.94%) включали по 2 сорта с идентичными электрофореграммами гордеина. Обнаружены группы, включающие 27 и 31 сорт с одинаковыми генетическими формулами гордеина. Обсуждается вопрос об использовании дополнительных генетических маркеров – SSR-маркеров и водорастворимых белков зерна для дифференциации и идентификации сортов ячменя, идентичных по гордеинам. Представлены результаты использования электрофоретического анализа гордеина в лабораторном сортовом контроле пивоваренного ячменя с 2005 по 2019 гг. Показана тенденция увеличения партий с высокой сортовой чистотой (более 95%) с 27% в 2005 г. до 62–65% в 2016–2019 гг. При этом за последние пять лет снижается доля партий пивоваренного ячменя, не соответствующих заявленным сортам, с 14.7% в 2015 г. до 4.2–4.6% в 2018 и в 2019 гг. соответственно.

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

DOI: 10.31857/S0016675821090101

Федеральным законом 149-ФЗ “О семеноводстве” предусмотрено проведение лабораторного сортового контроля семян сельскохозяйственных культур, поступающих в оборот. В лабораторном сортовом контроле ячменя в России наиболее широко используются методики электрофореза спирторастворимых запасных белков зерна – гордеинов в полиакриламидном (**ПААГ**) и в крахмальном (**КГ**) гелях. Методики утверждены Научно-техническим советом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (протокол № 17 от 24.03.2004) [1]. Указанные методики различаются не только используемыми гелями, электродным буфером и приготовлением проб, но и способом регистрации электрофореграмм. При электрофорезе в ПААГ электрофореграммы исследуемых образцов сравнивают с эталонным спектром, полученным при электрофорезе смеси белков различных сортов [2]. Эталонный спектр состоит из четырех зон (α, β, γ, ω), соответствующих биохимическим фракциям. Каждая зона включает несколько позиций, обозначаемых цифрами, которые могут быть заняты электрофоретическими компонентами гордеина. При этом в сортовых формулах интенсивные компоненты подчеркивают, минорные компоненты отмечают чертой над номером позиции, очень слабые – двумя чертами. При электрофорезе в КГ для регистрации электрофореграмм гордеина используют генетический подход. Установлено, что электрофоретические компоненты гордеина наследуются группами (блоками) и контролируются семью сцеп-

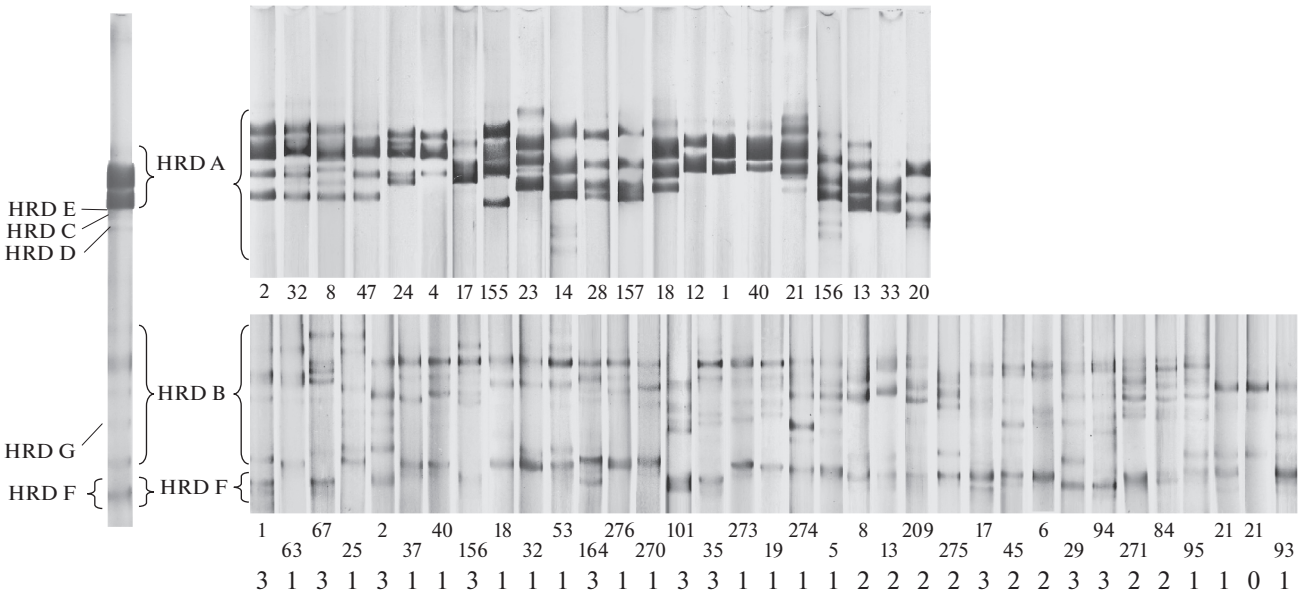

Рис. 1. Варианты блоков компонентов гордеина, контролируемые аллелями локусов *Hrd A*, *Hrd B* и *Hrd F*, обнаруженные при анализе 259 сортов ярового ячменя, включенных в Государственный реестр селекционных достижений с 2005 по 2019 гг.

ленно наследуемыми локусами: *Hrd A*, *Hrd B*, *Hrd C*, *Hrd D*, *Hrd E*, *Hrd F* и *Hrd G* [3–5]. Локусы *Hrd A*, *Hrd B* и *Hrd F* являются высоко полиморфными. Так, к настоящему времени у культурного ячменя для локуса *Hrd A* обнаружено 154 аллеля (вариантов блоков компонентов), для *Hrd B* – 269 и для *Hrd F* – 5 [6]. Аллели (варианты блоков компонентов) этих локусов обозначаются цифрами в порядке их обнаружения при исследовании сортов или коллекционных образцов ячменя. Локусы *Hrd C*, *Hrd D*, *Hrd E* и *Hrd G* контролируют отдельные слабоинтенсивные компоненты и на электрофореграммах гордеина у целого ряда сортов не обнаружены. Блоки компонентов HRD A, HRD B и HRD F на электрофоретических спектрах разделены пространственно (рис. 1). Это позволяет, с одной стороны, создавать каталоги вариантов блоков компонентов HRD A, HRD B и HRD F, с другой – регистрировать электрофореграммы гордеина в виде простых генетических формул, например, *Hrd A12B1F3* (рис. 1). Здесь *Hrd* – обозначение гордеинов, буквы *A*, *B* и *F* – обозначение полиморфных локусов, а цифры, следующие за буквами, обозначают аллели (варианты блоков компонентов). Таким образом, с помощью каталога можно регистрировать электрофореграммы в виде генетических формул или, имея генетическую формулу, можно представить электрофореграммы, которые они описывают. Указанный способ регистрации электрофореграмм в виде генетических формул позволяет так же легко создавать базы данных и обрабатывать их.

Испытательная лаборатория Института общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН уполномочена на право проведения лабораторного сортового контроля ячменя в Системе добровольной сертификации “Россельхозцентр” с 2000 г. (регистрационный номер Росс RU ДС 1.6.1.099). Как показывает опыт работы Испытательной лаборатории, наибольший интерес к лабораторному сортовому контролю ячменя проявляют не семеноводческие хозяйства, а пивоваренные и солодовенные предприятия. Это объясняется следующим: исследования, проведенные сотрудниками Московского государственного университета пищевых производств и ОАО “Русский солод” показали, что для обеспечения однородного замачивания, проращивания ячменя и сушки солода необходимо иметь его сортовую чистоту выше 90% [7]. Вопрос о надежной идентификации особенно остро стоит для так называемых Null-Lox сортов, характеризующихся отсутствием активности фермента липоксигеназы, способствующего быстрому старению пива. Очевидно, что примеси обычных сортов в партиях зерна Null-Lox сортов, не говоря уже о возможной путанице или подмене партий, могут привести к утрате качественных преимуществ последних. Пивоваренная компания “Балтика”, опираясь на западно-европейские стандарты, предъявляет к закупаемым партиям пивоваренного ячменя требования по сортовой чистоте – не ниже 95%, так как сортовая чистота влияет на формирование органолептического профиля и коллоидной стабильности пива [8]. Однако использование для идентификации сор-

Таблица 1. Микросателлитные маркеры ячменя

Микросателлитный маркер	Группа сцепления (хромосома)	Последовательность прямого праймера (5'–3')	Последовательность обратного праймера (5'–3')	Размер продукта ПЦР (пн)	Микросателлитный повтор	Ссылка
GBM1464	7H	ATAGCCGTGCTCTTGCTCAT	CAAGACCACCATTTGCATTG	170	(CAG)8*n*(CAG)5	[11]
GBM1323	4H	GCTCTCCAGGGTTCGTTTC	CACCGTCTTGCAGTTGAGAC	124	(GCC)8	[11]
scssr09041	5H	CATGTCAGTGGGGTTCTAGC	TCTACTTGGACCTGCTGACC	164	(CATA)12	[12]

тов только электрофоретического анализа гордеина в ряде случаев недостаточно, так как ряд сортов не различается по электрофореграммам этих белков.

В настоящем сообщении представлены результаты использования дополнительных генетических маркеров для идентификации сортов, а также результаты исследований сортового соответствия и сортовой чистоты товарных партий пивоваренного ячменя урожаев 2005–2019 гг. методом электрофореза гордеинов в крахмальном геле.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эталонные образцы 259 сортов ярового ячменя, включенных в Государственный реестр селекционных достижений с 2005 по 2019 гг., получали из ФГБУ “Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений”. Для определения генетической формулы гордеина от каждого эталонного образца сорта анализировали запасные белки в 40 индивидуальных зерновках. Согласно требованиям Международной ассоциации по контролю за качеством семян (International Seed Testing Association (ISTA)), для установления сортовой чистоты партий ячменя электрофоретический анализ гордеина проводили в 100 индивидуальных зерновках, случайно отобранных из средней пробы от партии зерна [9]. Электрофорез гордеинов проводили в столбиках 12–14%-ного крахмального геля с 3 М мочевиной в алюминий-лактатном буфере с pH 3.1 по методике, утвержденной НТС Министерства сельского хозяйства Российской Федерации [1]. Пропись методики изложена в Методическом пособии [6]. С целью использования SSR-маркеров для дифференциации сортов ячменя, идентичных по гордеинам, из базы данных GrainGenes 3.0 [10] было отобрано три микросателлитных маркера GBM1464, GBM1323, scssr09041, расположенных в различных хромосомах ячменя с высоким коэффициентом информативности (табл. 1) [11, 12]. Эти SSR-маркеры характеризуются единичным амплифицируемым продуктом ПЦР известного размера с небольшим количеством неспецифичной амплификации, позволяющим четко идентифицировать аллели. Тотальную ДНК выделяли из семидневных проростков по прописи [13]. Состав реакционной смеси для ПЦР и режим амплификации подбирали в соответствии с опубликованной методикой [15]. Электрофорез продуктов мультиплексной амплификации проводили в полиакриламидном геле по стандартной методике [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате электрофоретического анализа гордеина в крахмальном геле в 259 сортах было выявлено следующее: 21 вариант блоков компонентов, контролируемых аллелями локуса *Hrd A*, 34 варианта – аллелями локуса *Hrd B* и 4 – аллелями локуса *Hrd F* (рис. 1). Аллели этих локусов в исследованных сортах существенно различались по частотам (табл. 2). Среди обнаруженных аллелей локуса *Hrd A* с наибольшей частотой встречались четыре аллеля: *A2* (0.4807), *A24* (0.1139), *A12* (0.1004) и *A28* (0.0946). Частоты остальных 17 аллелей находились в пределах от 0.0039 до 0.0309. Из 34 аллелей локуса *Hrd B* самую высокую частоту имели три аллеля: *B8* (0.2394), *B17* (0.1576) и *B19* (0.1448). Остальные аллели (31) встречались с частотами от 0.0039 до 0.0746. Среди аллелей локуса *Hrd F* по частоте доминировал аллель *F3* (0.4633), а наименьшей частотой характеризовался аллель *F0* (0.0058). Частоты аллелей *F1* и *F2* были близки (0.2452 и 0.2852 соответственно). При сортовом контроле учитываются не отдельные аллели гордеин-кодирующих локусов, а генотип в целом – сочетание аллелей трех локусов (генетическая формула гордеина). Следует отметить, что из 259 сортов 42 сорта (16.2%) были гетерогенными, то есть включали от двух до четырех биотипов, различающихся по аллелям локусов *Hrd*. Это сорта исключительно отечественной селекции. Обнаруженный по локусам *Hrd* полиморфизм теоретически позволяет дифференцировать 2856 генотипов. Однако реально в исследованной выборке сортов обнаружено всего 113 генотипов, включая гетерогенные сорта. На наш взгляд, это обусловлено рядом причин. С одной стороны, как было показано нами ранее, полиморфизм гордеинов имеет адаптивное значение. При исследовании полиморфизма запасных белков зерна в сортах ячменя, возделывавшихся на территории бывшего СССР, а также в Российской Федерации, было установлено, что распространение аллелей локусов *Hrd* сопряжено с распределени-

Таблица 2. Частоты аллелей локусов *Hrd A*, *Hrd B* и *Hrd F*, присутствующие в 259 сортах ярового ячменя, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в период 2005–2019 гг.

Локус *Hrd A*							
Аллель	Частота	Аллель	Частота	Аллель	Частота	Аллель	Частота
1	0.0153	*14*	0.0039	*24*	0.1139	*40*	0.0039
2	0.4807	*17*	0.0039	*24*	0.0135	*47*	0.0039
4	0.0309	*18*	0.0232	*28*	0.0946	*155*	0.0077
8	0.0019	*20*	0.0116	*32*	0.0116	*156*	0.0154
12	0.1004	*21*	0.0328	*33*	0.0116	*157*	0.0039
13	0.0154						
Локус *Hrd B*							
Аллель	Частота	Аллель	Частота	Аллель	Частота	Аллель	Частота
1	0.0746	*21*	0.0270	*63*	0.0097	*164*	0.0425
2	0.0097	*25*	0.0347	*67*	0.0116	*209*	0.0019
5	0.0077	*29*	0.0656	*84*	0.0212	*270*	0.0039
6	0.0077	*32*	0.0058	*93*	0.0019	*271*	0.0174
8	0.2394	*35*	0.0167	*94*	0.0039	*273*	0.0077
13	0.0135	*37*	0.0154	*95*	0.0077	*274*	0.0077
17	0.1576	*40*	0.0039	*101*	0.0039	*275*	0.0077
18	0.0039	*45*	0.0097	*156*	0.0039	*276*	0.0039
19	0.1448	*53*	0.0058				
Локус *Hrd F*							
Аллель	Частота	Аллель	Частота	Аллель	Частота	Аллель	Частота
0	0.0058	*1*	0.2452	*2*	0.2857	*3*	0.4633

ем ряда климатических факторов: сумма эффективных температур, количество осадков в год, средняя температура июля и континентальность климата [17, 18]. С другой стороны, целый ряд сортов имеет или близкие родословные (например, Скарлетт и Ксанаду), или выведены вообще из одной комбинации скрещивания (например, Эксплоер и Пионер). Кроме этого, в литературе имеются сведения о сопряженности между некоторыми показателями пивоваренных качеств ячменя (экстрактивность солода, амилолитическая активность) и аллельными вариантами гордеин-кодирующих локусов [19–21]. Таким образом, 259 сортов ячменя по генотипам гордеин-кодирующих локусов распределились по 113 группам, включающим от 1 до 31 сорта (табл. 3). При этом самое большое число групп (77–68.15%) включало по одному сорту. Эти сорта по генотипам локусов *Hrd* были уникальными. Еще 18 групп (15.94%) включали по 2 сорта с идентичными электрофореграммами гордеина. Вместе с тем обнаружены группы, включающие 27 и 31 сорт, с одинаковыми генетическими формулами гордеина. Однако в эти группы входят сорта, допущенные к использованию в различных регионах. Например сорта с генетической формулой гордеина *Hrd A2 B17 F3*, входящие в группу из 31 сорта: Олимпик, КВС Орфелия, Кати, Никита, Приморский 44 допущены к использованию в регионах 2, 3, 4, 5, 10 и 12 соответственно. Одновременно в некоторых регионах допущены к использованию сорта, не различающиеся по электрофореграммам гордеина. Так, в пятом регионе допущены сорта Травелер, Экслоер, Марни, Грэйс и Пионер, а в третьем регионе – Грэйс, Дженнифер и Фортуна, характеризующиеся генетической формулой гордеина *Hrd A4 B164 F1.* Для идентификации таких сортов и установления возможного взаимного засорения необходимо привлекать дополнительные генетические маркеры. Например с использованием мультиплексной ПЦР с тремя SSR маркерами удается дифференцировать сорта Травелер, Грэйс

Таблица 3. Группы генотипов в 259 сортах ярового ячменя, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2005–2019 гг.

№ п/п	Число сортов в группе	Число групп сортов	Доля групп, %
1	1	77	68.15
2	2	18	15.94
3	3	6	5.32
4	4	3	2.66
5	5	1	0.88
6	6	2	1.77
7	7	1	0.88
8	10	1	0.88
9	11	1	0.88
10	13	1	0.88
11	27	1	0.88
12	31	1	0.88
Всего		113	100

Таблица 4. Доли (%) и массы партий товарного зерна сортов пивоваренного ячменя, не соответствующих заявленным сортам, выявленных методом электрофореза запасных белков зерна, в урожае 2015–2019 гг.

Год	Число исследованных партий	Партий, не соответствующих завяленным сортам	
		доля, %	масса, т
2015	319	14.7	28390
2016	435	11.7	59832
2017	512	6.6	42880
2018	405	4.2	19371
2019	394	4.6	20871

и Пионер от сортов Эксплоер и Марни, оказавшимися идентичными по электрофореграммам продуктов амплификации (рис. 2). Кроме ДНК-маркеров для дифференциации и контроля качества сортов, идентичных по гордеинам, с успехом можно использовать электрофоретический анализ водорастворимых белков зерна ячменя [22]. Таким образом, для наиболее полной дифференциации и точной идентификации сортов необходимо использовать комплекс генетических маркеров.

В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в России, включается все больше сортов пивоваренного ячменя. Так, если в Реестр 2006 г. было включено 58 сортов, то в 2019 г. уже 85 сортов пивоваренного ячменя. При этом в Испытательную лабораторию ИОГен РАН для проведения сортового контроля в различные годы поступали партии зерна от 23 до 30 сортов. Как было отмечено выше, к товарным партиям зерна пивоваренных сортов предъявляются требования по сортовой чистоте не ниже 95%. На диаграмме динамики доли таких партий за период с 2005 по 2019 гг. наблюдается тенденция увеличения партий с высокой сортовой чистотой (рис. 3). Если в 2005 г. доля партий с чистотой 95% и выше составляла всего 27%, то в 2016–2019 гг. доля таких партий возросла до 62–65%. Ежегодно при лабораторном сортовом контроле обнаруживались партии полностью не соответствующие заявленным в документах сортам, то есть ни одного зерна заявленного сорта при анализе гордеина в 100 зерновках обнаружено не было. Как правило такие партии представляли собой смесь сортов. Как видно из табл. 4, за последние пять лет наблюдается сокращение доли таких партий с 14.7% в 2015 г. до 4.2–4.6% в 2018 и в 2019 гг. соответственно.

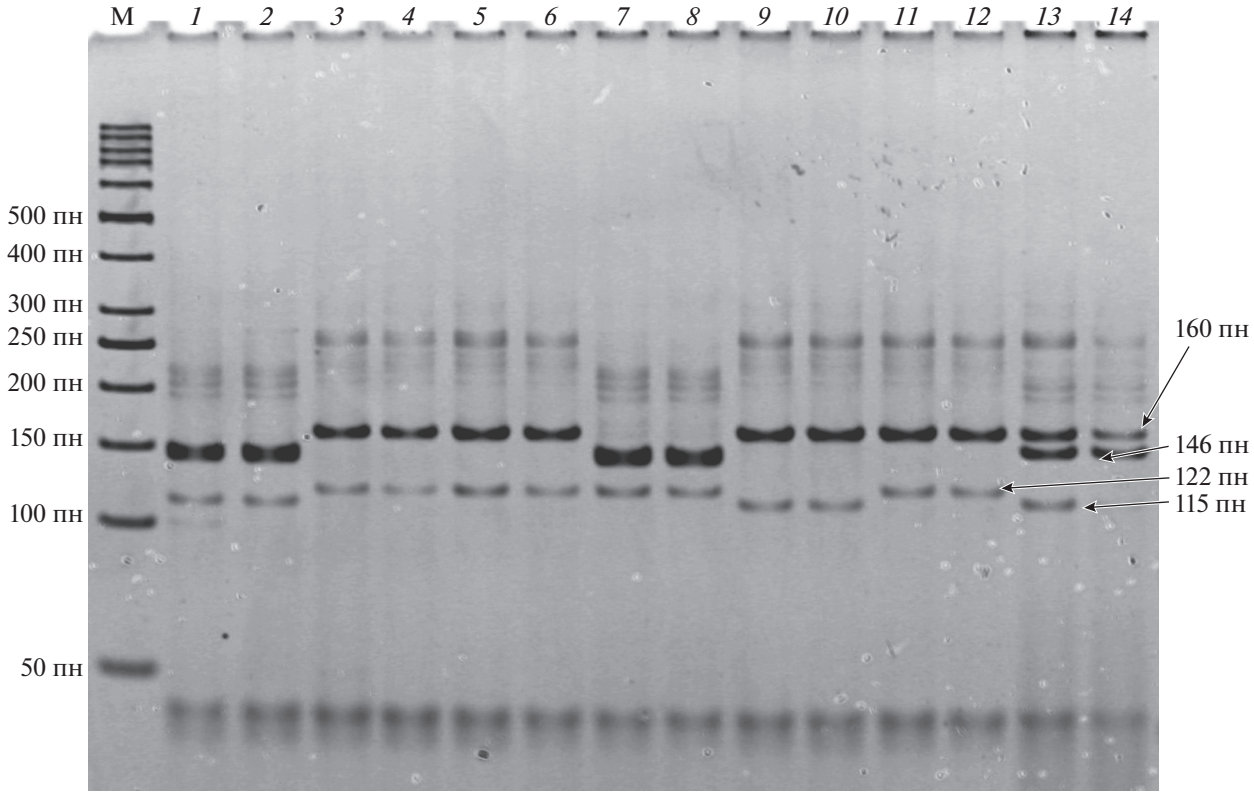

Рис. 2. Электрофореграммы продуктов мультиплексной ПЦР (10%-ный ПААГ) сортов ярового ячменя, имеющих идентичные спектры гордеинов. М – молекулярный маркер массы; *1*, *2* – Травелер, *3*, *4* – Эксплоер, *5*, *6* – Марни, *7*, *8* – Грейс, *9*, *10* – Дженнифер, *11*, *12* – Пионер, *13*, *14* – Фортуна.

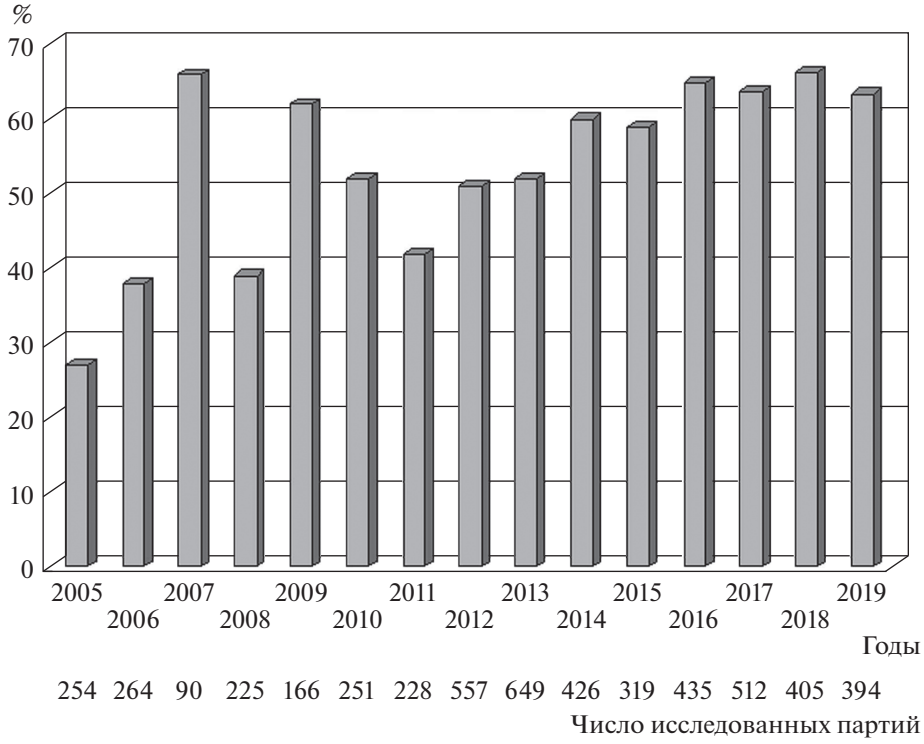

Рис. 3. Доли партий пивоваренного ячменя, с сортовой чистотой 95% и более в урожае 2005–2019 гг.

Таким образом, опыт работы Испытательной лаборатории ИОГен РАН свидетельствует, что лабораторный сортовой контроль на основе даже только электрофоретического анализа гордеина позволяет вычленять партии пивоваренного ячменя не только с высокой сортовой чистотой, но и выявлять партии, не соответствующие заявленным сортам.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с использованием в качестве объекта животных.

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием в качестве объекта людей.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Поморцев А.А., Кудрявцев А.М., Упелниек В.В. и др.* Методика проведения лабораторного сортового контроля по группам сельскохозяйственных растений. М.: “Росинформагротех”, 2004. 107 с.
2. *Конарев В.Г., Дягилева Г.Е., Гаврилюк И.П. и др.* Сортовая идентификация ячменя по электрофоретическим спектрам гордеина // Бюлл. Всесоюзн. Ин-та растениеводства им. Н.И. Вавилова. 1979. В. 92. С. 30–40.
3. *Созинов А.А., Нецветаев В.П., Григорян Э.М. и др.* Картирование локусов Hrd у ячменя (*Hordeum vulgare* L. emed. Vav. et Bach.) // Генетика. 1978. Т. 14. № 9. С. 1610–1619.
4. *Поморцев А.А., Нецветаев В.П., Попереля Ф.А. и др.* Идентификация шестого локуса, контролирующего синтез гордеина у озимого ячменя // Докл. ВАСХНИЛ. 1983. № 1. С. 7–11.
5. *Netsvetaev V.P., Sozinov A.A.* Location of a hordein G locus, Hrd G, on chromosome 5 of barley // Barley Genet. Newsletter. 1984. V. 14. P. 4–6.
6. *Поморцев А.А., Лялина Е.В.* Оценка сортовой принадлежности и сортовой чистоты семян ячменя методом электрофоретического анализа запасных белков зерна // Метод. пособие к практикуму “Белковые маркеры для генет. паспортизации и улучшения геномов растений хозяйственно ценных видов”. М., 2011. 86 с.
7. *Хлыновский А.Д., Ермолаева Г.А., Жаркова Л.П.* Значение использования электрофоретического определения сотовой чистоты пивоваренного ячменя // Тр. Междунар. научно-практ. конф. Современные принципы и методы селекции ячменя. Краснодар, 2007. С. 281–285.
8. *Таразанов В.А.* Качественные аспекты получения пивоваренного ячменя // Мат. III междунар. конгр. “Зерно и хлеб России”. С.-Петербург, 13–15 ноября, 2007. С. 93.
9. *Cook R.J.* Handbook of Variety Testing. Electrophoresis Handbook: Variety Identification. ISTA, 1992. 25 p.
10. https://wneat.pw.usda.gov/GG3/.
11. *Varshney R.K., Grosse I., Hähnel U. et al.* Genetic mapping and BAC assignment of EST-derived SSR markers shows non-uniform distribution of genes in the barley genome // Theor. Appl. Genet. 2006. V. 113. P. 239. https://doi.org/10.1007/s00122-006-0289-z
12. *Ramsay L., Russell J., Macaulay M.* Variation shown by molecular markers in barley: genomic and genetic contraints // Aspects of Appl. Biol. 2004. V. 72. P. 146–154.
13. https://www.diversityarrays.com/orderinstructions/plant-dna-extraction-protocol-for-dart/.
14. *Ramsay L., Macaulay M., degli Ivanissevich S. et al.* A simple sequence repeat-based linkage map of barley // Genetics. 2000. V. 156. Iss. 4. P. 1997–2005.
15. *Varshney R.K., Marcel T.C., Ramsay L. et al.* A high-density barley microsatellite consensus map with 775 SSR loci // Theor. Appl. Genet. 2007. V. 114. Iss. 6. P. 1091–1103. https://doi.org/10.1007/s00122-007-0503-7
16. *Sambrook J.F., Russell D.W. et al.* Molecular Cloning: A Laboratory Manual. 3rd ed. V. 1–3. Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2001. 2100 p.
17. *Поморцев А.А., Калабушкин Б.А., Ладогина М.П. и др.* Геногеография и закономерности распространения аллельных вариантов в трех гордеинкодирующих локусах ярового ячменя на территории бывшего СССР // Генетика. 1994. Т. 30. № 6. С. 806–815.
18. *Поморцев А.А., Калабушкин Б.А., Лялина Е.В.* Закономерности распределения аллельных вариантов трех гордеин-кодирующих локусов ярового ячменя на территории Российской Федерации // Генетика. 2001. Т. 37. № 11. С. 1513–1520.
19. *Нецветаев В.П., Шмидер В., Демина В.И.* Гордеин, пивоваренные свойства и продуктивность ярового ячменя // Тез. Всес. конф. “Физиолого-генетические основы интенсификации селекционного процесса”. Саратов, 1984. С. 44–45.
20. *Нецветаев В.П.* Теоретические основы использования белкового полиморфизма для оптимизации селекционного процесса: Автореф. дис. ... д.б.н. С.-Петербург, 2000. 49 с.
21. *Echart-Almeida C., Cavalli-Molina S.* Hordein polypeptide patterns in relation to malting guality in Brazilian barley varieties // Pesq. Agropec. Bras. Brasilia. 2001. V. 36. № 2. P. 211–217.
22. *Поморцев А.А., Болдырев С.В., Лялина Е.В.* Комплекс полиморфных локусов, контролирующих белки семян для идентификации сортов ячменя // Тр. прикл. бот., генет. и селекции. 2014. Т. 175. В. 4. С. 87–91.

Genetic Markers in Laboratory Variety Control of Barley (*Hordeum vulgare* L.)

A. A. Pomortsev[a, *], E. V. Lyalina[a], N. A. Tereshchenko[a], S. V. Boldyrev[b], Е. Ю. Яковлева (дать перевод)[a], A. N. Berezkin[c], A. M. Malko[d], and O. V. Androsova[d]

[a] *Vavilov Institute of General Genetics, Rusian Academy of Sciences, Moscow, 119991 Russia*

[b] *Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, 143026 Russia*

[c] *Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, 127550 Russia*

[d] *Federal State Budgetary Institution "Russian Agricultural Center", Moscow, 107139 Russia*

**e-mail: pomortsev@vigg.ru*

The polymorphism of hordeins controlled by the *Hrd A*, *Hrd B* and *Hrd F* loci in 259 varieties of spring barley approved for use in the Russian Federation was studied by electrophoresis in the starch gel. For locus *Hrd A* – 21 alleles, for locus *Hrd B* – 34 and locus *Hrd F* – 4 alleles. The allele frequencies of these loci varied between 0.4807–0.0039 (*Hrd A*), 0.2394–0.0039 (*Hrd B*), and 0.4633–0.0058 (*Hrd F*). The polymorphism found at *Hrd* locus theoretically allows differentiating 2856 genotypes. The studied varieties by genotypes of hordein coding locus were distributed in 113 groups, including from 1 to 31 varieties. The largest number of groups (77–68.15%) included one variety. These varieties were unique in terms of *Hrd* locus genotypes. Another 18 groups (of 15.94%) included in the two grades with identical electrophoregrams hordein. Groups including 27 and 31 varieties with the same genetic formulas of hordein were found. The use of additional genetic markers – SSR markers and water-soluble grain proteins for differentiation and identification of barley varieties that are identical in hordeins is discussed. The results of using electrophoretic analysis of hordein in laboratory varietal control of malting barley from 2005 to 2019 are presented. The trend of increasing lots with high varietal purity (more than 95%) from 27% in 2005 to 62–65% in 2016–2019 is shown. At the same time, over the past 5 years, the share of batches of malting barley that do not correspond to the declared varieties has decreased from 14.7% in 2015 up to 4.2–4.6% in 2018 and 2019 respectively.

Keywords: barley, the polymorphism of hordeins, genetic markers, laboratory varietal control.