

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.16:632.732
DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-020



Генетическая защита образцов ячменя из Афганистана от обыкновенной злаковой тли

Е. Е. Радченко, О. Н. Ковалева, Р. А. Абдуллаев

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгений Евгеньевич Радченко, eugene_radchenko@rambler.ru

Актуальность. Возделывание генетически защищенных сортов ячменя рассматривается как наиболее экономичный способ борьбы с обыкновенной злаковой тлей *Schizaphis graminum* Rondani. К сожалению, этот опасный фитофаг способен довольно быстро преодолевать устойчивость растений. Богатым источником пополнения запаса новых эффективных генов резистентности могут быть образцы местного ячменя, поступившие в коллекцию Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова из стран Азии.

Материалы и методы. В лабораторных опытах с помощью балловой шкалы оценили устойчивость к краснодарской популяции насекомого 65 образцов ячменя из Афганистана и семи линий, которые были выделены ранее из гетерогенных местных образцов. Кроме того, изучили сорт 'Post' (к-31204, США, защищен геном *Rsg1*) и линии, выделенные из образцов к-15903, к-15600, к-16190 (Китай), к-4080, к-3885, к-3904 (Монголия) и сорта 'Онохойский' (к-16626, Россия, Бурятия), каждая из которых имеет по одному гену устойчивости, а также выделенную из сорта 'Namji Milyang Native K647 1007' (к-28129, Северная Корея) линию, защищенную доминантным и рецессивным генами. Наследование устойчивости у линий из Афганистана изучали с помощью тест-клонов *S. graminum* и гибридологического анализа.

Результаты и выводы. Восемь гетерогенных образцов из Афганистана содержат растения с высоким уровнем устойчивости к обыкновенной злаковой тле. В результате заселения 'Post' и семи линий, выделенных из афганских образцов, 93 клонами тли выявили 29 фенотипов вирулентности *S. graminum*. Устойчивость всех линий контролируют различные аллели, отличающиеся и от идентифицированных нами ранее. Эффективность генов, которыми защищены выделенные из афганских образцов линии, в большинстве случаев низка. Устойчивы к популяции тли две линии – 20209 и 22421. У линии 22421 выявлен моногенный доминантный контроль признака.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., *Schizaphis graminum* Rondani, фенотипы вирулентности, гены устойчивости

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № FGEM-2022-0009 «Структурирование и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития, оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

Для цитирования: Радченко Е.Е., Ковалева О.Н., Абдуллаев Р.А. Генетическая защита образцов ячменя из Афганистана от обыкновенной злаковой тли. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2026;187(2):128-136. DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-020

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-o20

Genetic protection of Afghan barley accessions from greenbug

Evgeny E. Radchenko, Olga N. Kovaleva, Renat A. Abdullaev

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Evgeny E. Radchenko, eugene_radchenko@rambler.ru

Background. Growing genetically protected barley cultivars is considered the most cost-efficient method to control the greenbug, *Schizaphis graminum* Rondani. Unfortunately, this dangerous phytophage is capable of rapidly overcoming plant resistance. Accessions of local barleys from Asian countries that entered the collection of the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources could serve as a rich source of new effective resistance genes.

Materials and methods. Laboratory experiments were conducted to assess the resistance of 65 barley accessions from Afghanistan and 7 pure lines, isolated from heterogeneous accessions in previous studies, to the Krasnodar greenbug population using a scoring scale. The study also included cv. 'Post' (k-31204, USA, carrier of the *Rsg1* resistance gene), and lines isolated from barley landrace accessions k-15903, k-15600, k-16190 (China), k-4080, k-3885, k-3904 (Mongolia) and cv. 'Onokhoisky' (k-16626, Buryatia, Russia), each containing one gene controlling low plant damage, as well as a line isolated from cv. 'Namji Milyang Native K647 1007' (k-28129, North Korea), protected by dominant and recessive genes. Genetic control of greenbug resistance in the lines from Afghanistan was studied using aphid test clones and hybridological analysis.

Results and conclusions. Eight heterogeneous accessions from Afghanistan had plants displaying a high level of resistance to *S. graminum*. Assessing cv. 'Post' and seven lines isolated from Afghan accessions for their response to 93 aphid clones made it possible to identify 29 virulence phenotypes. All seven lines contained resistance alleles that differed from one another and from those that we had previously identified. In most cases, the efficacy of the genes protecting the lines isolated from Afghan accessions was low. Two lines, 20209 and 22421, were resistant to aphid populations. Line 22421 exhibited monogenic dominant control of the trait.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., *Schizaphis graminum* Rondani, virulence phenotypes, resistance genes

Acknowledgments: the study was conducted within the framework of the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

For citation: Radchenko E.E., Kovaleva O.N., Abdullaev R.A. Genetic protection of Afghan barley accessions from greenbug. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2026;187(2):128-136. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-o20

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors or their employers.

Введение

Обыкновенная злаковая тля *Schizaphis graminum* Rondani может значительно снизить урожай ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в зерносеющих регионах на юге Российской Федерации. Возделывание генетически защищенных сортов считается наиболее радикальным и экономичным способом контроля численности этого вредителя. Дифференциальное взаимодействие с генотипами растения-хозяина, которое свойственно обыкновенной злаковой тле, нередко обуславливает утрату эффективности генов устойчивости, а широкое выращивание генетически однородных сортов приводит к драматичным потерям урожая зерна.

В литературе описано шесть аллелей четырех *Rsg*-генов устойчивости, которые проявляются против некоторых биотипов *S. graminum* в США. Локализованный в длинном плече хромосомы 3Н доминантный аллель *Rsg1a* первоначально был выявлен у корейского сорта 'Omugi' и производных от него форм. Следует отметить коммерческий сорт 'Post', защищенный аллелем *Rsg1a* (Gardenhire, Chada, 1961; Smith et al., 1962; Gardenhire et al., 1973; Edwards et al., 1985; Azhaguvel et al., 2014). Образец местного ячменя из Пакистана PI 426756 несет доминантный аллель *Rsg2b* (Merkle et al., 1987). Этот ген, в отличие от *Rsg1a*, проявляется против биотипа TX1, вследствие чего генам были присвоены новые символы – *Rsg1* и *Rsg2* (Puterka et al., 1988; Anstead et al., 2003).

Последующие исследования позволили выявить множественный аллелизм у генов *Rsg1* и *Rsg2*. Образец *H. vulgare* subsp. *spontaneum* WBDC336 (PI 682028) из Туркменистана защищен аллелем *Rsg1.a3* (Armstrong et al., 2016; Xu et al., 2021), а пакистанский образец *H. vulgare* subsp. *spontaneum* WBDC053 (PI 681777) имеет аллель *Rsg2.a3*, тесно сцепленный либо аллельный *Rsg2* (Xu et al., 2022).

Локализованный в длинном плече хромосомы 3Н ген *Rsg3*, идентифицированный у китайского образца PI 565676, контролирует высокую устойчивость к биотипу F обыкновенной злаковой тли и умеренно проявляющуюся – к биотипу E (Xu et al., 2023). Ген *Rsg4* идентифицирован у образца CI 2548 и также локализован в длинном плече хромосомы 3Н. В отличие от *Rsg1* и *Rsg3*, *Rsg4* обуславливает устойчивость к широко распространенному в США биотипу тли TX1 (Xu et al., 2024).

Разнообразие эффективных генов устойчивости ячменя и других зерновых культур к обыкновенной злаковой тле для использования в селекции может быть существенно расширено за счет местных образцов, происходящих из стран Азии (Radchenko, Zubov, 2007; Radchenko et al., 2014; Radchenko et al., 2018), что обусловлено давностью отношений насекомого и растений-хозяев. Считают, что большинство групп тлей происходят из горных районов Индийской и Манчжурско-Китайской подобластей (Shaposhnikov, 1967).

Исследование в 2008 г. 180 афганских образцов позволило выделить 33 гетерогенные формы, которые содержат устойчивые к красnodарской популяции обыкновенной злаковой тли компоненты (Radchenko et al., 2014). Путем индивидуального отбора из семи образцов получены и размножены чистые линии.

Цель настоящей работы – исследование эффективности и генетического контроля устойчивости к тле у выделенных в предыдущих опытах образцов ячменя. Кроме того, осуществили скрининг 65 образцов ячменя из Афганистана по устойчивости к «новой» популяции вредителя, собранной в 2023 г.

Материалы и методы

Материалом для исследований служили 65 образцов ячменя (главным образом местные формы и стародавние сорта), поступивших в коллекцию ВИР из Афганистана, 7 линий, выделенных из гетерогенных образцов в 2008 г., и восприимчивый к вредителю сорт 'Белогорский' (к-22089, Россия, Ленинградская область). Кроме того, изучали устойчивость сорта 'Post' (к-31204, США, защищен геном *Rsg1*), чистых линий, выделенных из гетерогенных образцов к-15600, к-15903, к-16190 (Китай), к-3885, к-3904, к-4080 (Монголия) и сорта 'Онохойский' (к-16626, Россия, Бурятия), каждая из которых имеет по одному гену устойчивости к тле, а также линии, выделенной из сорта 'Namji Milyang Native K647 1007' (к-28129, Северная Корея), защищенной доминантным и рецессивным аллелями (Radchenko et al., 2022, 2023a, b). Кроме того, оценили устойчивость к *S. graminum* гибридов F₁, F₂ и семей F₃ от скрещивания выделенной из образца к-22421 линии с сортом 'Белогорский'.

В лабораторных условиях (отдел генетики ВИР, г. Пушкин, Санкт-Петербург) оценивали поврежденность образцов ячменя красnodарской (Кубанская опытная станция – филиал ВИР, Гулькевичский район) популяцией *S. graminum*, собранной на сорго в 2023 г., и выделенными из нее клонами. Для получения клонов насекомого семена неустойчивого сорта раскладывали на влажную вату, помещенную в половинки чашек Петри, затем на появившиеся всходы в каждой чашке подсаживали одну партеногенетическую самку и накрывали стеклянными изоляторами, верхнюю часть которых затягивали мельничным газом. После начала отрождения личинок садки с полученными 93 клонами помещали на светоустановки.

Для скрининга образцов по устойчивости к тле в кювету с почвой высевали 10 рядов изучаемых форм и 2 ряда неустойчивого контроля. Появившиеся всходы заселяли популяцией *S. graminum* (смесь 93 клонов) путем стряхивания разновозрастных насекомых на растения. Питание тли приводит к некротизации растений, что позволяет при гибели контроля оценить степень поврежденности с помощью балловой шкалы от 0 (отсутствие симптомов повреждения) до 10. К устойчивому классу относили растения, поврежденность которых составляла 1–4 балла, степень повреждения 5–8 баллов означала умеренную устойчивость, а 9 и 10 баллов свидетельствовали о восприимчивости растений (Radchenko, 2008).

Оценили поврежденность линий с изученным нами ранее генетическим контролем устойчивости, линий, выделенных из афганских местных образцов, а также сорта 'Post' 93 клонами обыкновенной злаковой тли. Изучаемые образцы и неустойчивый контроль высевали в сосуды с почвой в круговом порядке и закрывали стеклянными изоляторами. Появившиеся всходы заселяли разновозрастными тлями одного клона, а при гибели контроля (9 и 10 баллов) оценивали поврежденность ячменя.

При анализе расщепления по устойчивости к тле семена гибридов F₂ и 80 семей F₃ от скрещивания выделенной из образца к-22421 линии 22421 с сортом 'Белогорский' высевали рядами в кювету с почвой. В эту же кювету помещали по одному ряду P₁, P₂ и F₁. Семени F₂ были собраны с одного растения F₁, а каждая семья F₃ являлась потомством одного растения F₂. Ювенильные растения заселяли смесью 93 клонов *S. graminum*. При гибели 'Бе-

логорского' оценивали поврежденность растений. К неустойчивому классу (S) относили растения, сходные по степени поврежденности с 'Белогорским' (9 и 10 баллов), устойчивыми (R) считали слабо поврежденные растения, сходные с линией 22421. С помощью критерия χ^2 оценивали соответствие фактически полученных и ожидаемых данных.

Результаты и обсуждение

Оценка 65 образцов ячменя из Афганистана позволила выделить 8 гетерогенных форм, которые содержали растения с высокой (2–4 балла) и умеренной (5–8 баллов) устойчивостью к обыкновенной злаковой тле (табл. 1). Преобладали образцы с широким спектром степени поврежденности растений. Высокая изменчивость признака может объясняться присутствием в популяции *S. graminum* клонов, различающихся по вирулентности к образцам ячменя, а также проявлением слабо экспрессирующихся генов устойчивости.

Результаты оценки степени поврежденности ячменя популяциями *S. graminum*, собранными в 2008 и 2023 г., в большинстве случаев не совпадают (см. табл. 1). Очевидно, в изученных выборках семян частота одного из фенотипических классов (устойчивый, умеренно устойчивый, восприимчивый) была низка либо он вовсе отсутствовал. Утрата устойчивости может объясняться и накоплением в популяции вредителя вирулентных к устойчивым ранее образцам клонов.

Оценка устойчивости семи чистых линий, выделенных из афганских коллекционных образцов, и сорта 'Post' ко всем имевшимся в нашем распоряжении 93 клонам *S. graminum* позволила выявить 29 фенотипов вирулентности (биотипов) тли. Доминировал (12,9%) фенотип, авирулентный к линиям 20209, 20750, 22421 и сильно повреждающий остальные образцы (табл. 2); 12 фенотипов встречались с низкой частотой (1,1%).

В этих экспериментах к устойчивому классу (R) мы относили только случаи отчетливого проявления генов устойчивости (поврежденность растений 1–4 балла). Од-

Таблица 1. Образцы ячменя из Афганистана, выделившиеся по устойчивости к *Schizaphis graminum* Rondani

Table 1. Afghan barley accessions identified for their resistance to *Schizaphis graminum* Rondani

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Разновидность / Variety	Поврежденность, балл / Damage score	
			2008 г.	2024 г.
5930	Местный	<i>nutans</i>	8, 10	4, 5, 7, 8, 9, 10
5931	Местный богарный	<i>pallidum</i>	8, 9, 10	4, 7, 8, 9, 10
5932	Местный	<i>pallidum</i>	2, 7, 8, 10	8, 9, 10
5938	Местный	<i>nutans</i>	3, 7, 8, 9, 10	10
5942	Местный терсмал	<i>pallidum</i>	2	10
5943	Местный поливной	<i>pallidum</i>	8, 9, 10	3, 4, 5, 8
5948	Местный	<i>pallidum</i>	2, 3, 4, 9, 10	2, 3, 4, 7
5965	Местный	<i>pallidum</i>	Не оценивался	2, 4, 5, 8, 9, 10
5983	Местный	<i>coeleste</i>	10	2, 3, 8, 9, 10
6014	Местный ляльми, неполивной	<i>pallidum</i>	3, 9, 10	Не оценивался
6015	Местный гекдаби ширик	<i>pallidum</i>	3, 8, 10	Не оценивался
6017	Местный аби	<i>pallidum, nutans</i>	3, 7, 10	Не оценивался
6022	Местный	<i>coeleste, pallidum, subrikotense</i>	3, 7, 10	Не оценивался
6025	Местный	<i>pallidum</i>	3, 8, 10	8, 9, 10
6026	Местный	<i>pallidum, rikotense</i>	3, 7, 8, 9	3, 4, 8, 9, 10
6028	Местный	<i>pallidum</i>	3, 7, 9, 10	10
6040	Местный кальджоу	<i>pallidum</i>	3, 7, 8, 10	10
6044	Местный	<i>rikotense, pallidum</i>	3, 7, 8, 10	Не оценивался
6063	Местный	<i>pallidum</i>	3, 7, 10	Не оценивался
6065	Местный	<i>pallidum</i>	1, 7, 10	Не оценивался
9208	Местный	<i>rikotense</i>	1, 3, 10	Не оценивался
20209	Местный	<i>pallidum, pyramidatum</i>	2, 3, 4, 9, 10	Не оценивался

Таблица 1. Окончание

Table 1. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Разновидность / Variety	Поврежденность, балл / Damage score	
			2008 г.	2024 г.
20670	Местный	<i>pallidum</i> , ед. <i>nutans</i> , ед. <i>parallelum</i>	2, 3, 10	Не оценивался
20673	Местный	<i>pallidum</i>	3, 5, 10	Не оценивался
20680	Местный	<i>pallidum</i>	1, 3, 7, 10	Не оценивался
20686	Местный	<i>pallidum</i>	3, 9, 10	Не оценивался
20688	Местный	<i>pallidum</i>	3, 5, 10	Не оценивался
20692	Местный	<i>pallidum, parallelum</i>	3, 5, 7, 10	Не оценивался
20693	Местный	<i>pallidum, parallelum</i> , ед. <i>nutans, rikatense</i>	2, 10	Не оценивался
20696	Местный	<i>pallidum, pyramidatum</i>	3, 5, 10	Не оценивался
20745	Местный	<i>pallidum, pyramidatum</i>	3, 10	Не оценивался
20746	Местный	<i>coeleste</i> , ед. <i>pallidum</i> , ед. <i>himalayense</i>	2, 10	Не оценивался
20750	Местный	<i>pallidum</i>	2, 5	Не оценивался
20753	Местный	<i>rikatense</i>	2, 3, 7, 8, 9	Не оценивался
21482	Местный N 544	<i>pallidum</i>	3, 10	Не оценивался
22421	Местный	<i>pallidum</i>	1, 3, 8, 9, 10	Не оценивался
22426	Местный	<i>pallidum</i>	3, 8, 10	9, 10
26651	Местный	<i>pallidum</i>	4, 10	Не оценивался
27214	'Istaru'	<i>pallidum</i>	Не оценивался	4, 5, 8, 9, 10
'Белогорский' (восприимчивый контроль)			9, 10	9, 10

нако при заселении линий клонами *S. graminum* наблюдали также умеренную устойчивость растений (6–8 баллов), которая контролируется генами со слабым фенотипическим проявлением. Эти случаи, как и явно выраженную восприимчивость растений (поврежденность 9 и 10 баллов, то есть вирулентность *S. graminum* и к главным, и к слабо проявляющимся генам устойчивости), относили к восприимчивому классу (S). Очевидно, мы наблюдали дифференциальное взаимодействие с генотипами обыкновенной злаковой тли не только отчетливо проявляющихся (главных), но и слабоэкспрессирующихся (малых) генов, которые, вопреки широко распространенному мнению, не могут быть основой длительно сохраняющейся устойчивости растений. К аналогичному выводу мы пришли и в результате исследования устойчивости коллекции ячменя из стран Восточной Азии (Radchenko et al., 2023a).

Различающиеся по фенотипам вирулентности «тест-клоны» *S. graminum* позволяют идентифицировать у образцов ячменя гены резистентности к насекомому. Сильное повреждение изучаемого образца клоном тли, авирулентным к тестеру данного гена устойчивости, указывает на отсутствие функционального аллеля этого гена у образца ячменя. Линии 20209, 20750 и 22421 устойчивы к тле с фенотипом вирулентности 1, тогда как 'Post'

и остальные четыре линии – восприимчивы (см. табл. 2). Отсюда следует, что аллели устойчивости у данных линий отличны от аллелей, которыми защищены остальные образцы ячменя. Взаимодействие ячменя и *S. graminum* с фенотипом вирулентности 2 указывает на отличие генетического контроля устойчивости линий 20209 и 20750 от 22421, а заселение образцов тлей с фенотипом 3 привело к выводу о различии контроля изучаемого признака у линий 20209 и 20750. Последующее сравнение взаимодействия образцов ячменя с клонами тли указывает, что все семь линий имеют разные аллели устойчивости к *S. graminum*, которые отличаются также от идентифицированного ранее гена *Rsg1*.

Опыты с клонами обыкновенной злаковой тли показали, что существенное варьирование степени повреждения растений обусловлено главным образом наличием в изученной популяции клонов, которые различаются по вирулентности к анализируемым образцам ячменя. Все выделенные из афганских образцов линии защищены различными аллелями устойчивости, которые отличаются и от идентифицированного ранее *Rsg1* (сорт 'Post'), однако их эффективность в большинстве случаев низка (табл. 3). Частота клонов, вирулентных к четырем линиям, варьирует от 75,3% до 95,7%; 37,6% и 49,4% клонов сильно повреждают линии 20750 и 22421. Ис-

Таблица 2. Фенотипическое разнообразие краснодарской популяции обыкновенной злаковой тли
Table 2. Phenotypic diversity of the Krasnodar greenbug population

Фенотип вирулентности / Virulence phenotype	Число фенотипов / Number of phenotypes	Устойчивость образцов ячменя к клонам <i>Schizaphis graminum</i> с разными фенотипами вирулентности / Resistance of barley accessions to greenbug clones with different virulence phenotypes							
		'Post'	9208	20209	20670	20673	20750	22421	22426
1	12	S	S	R	S	S	R	R	S
2	9	S	S	R	S	S	R	S	S
3	9	S	S	R	S	S	S	S	S
4	8	S	S	R	S	R	R	S	S
5	6	S	S	R	S	S	S	R	S
6	6	R	S	R	S	S	S	S	S
7	4	S	R	R	S	S	R	R	S
8	4	S	S	R	S	R	R	R	S
9	4	R	S	R	S	S	R	R	S
10	3	R	S	R	S	S	R	S	S
11	3	S	R	R	R	S	S	R	S
12	3	R	S	R	S	S	S	R	S
13	2	S	R	R	S	R	R	R	S
14	2	S	S	R	S	R	S	S	S
15	2	R	S	R	S	R	R	R	S
16	2	R	S	R	S	R	R	S	S
17	2	S	S	S	S	S	S	S	S
18	1	R	R	R	R	S	R	R	R
19	1	R	R	R	S	S	R	S	S
20	1	R	R	R	S	R	R	S	S
21	1	R	S	R	R	S	R	R	S
22	1	R	S	S	S	S	S	R	S
23	1	S	R	R	R	R	R	S	S
24	1	S	R	R	S	S	R	S	S
25	1	S	R	R	S	S	S	R	R
26	1	S	R	R	S	S	S	S	R
27	1	S	S	R	R	S	R	R	S
28	1	S	S	R	S	S	R	R	R
29	1	S	S	R	R	R	S	R	S

Примечание: здесь и далее R – устойчивость, S – восприимчивость образца

Note: here and hereinafter, R means resistance, and S means susceptibility of accessions

ключение составляет линия 20209 (3,2% вирулентных клонов). Нам удалось выявить и слабо проявляющуюся устойчивость растений к отдельным клонам *S. graminum*. Устойчивыми к популяции тли оказались две линии – 20209 и 22421 (см. табл. 3).

Все семь линий из Афганистана защищены аллелями устойчивости, отличающимися от идентифицированных ранее, на что указывает сравнение поврежденности экспериментальных образцов тест-клонами насекомого (см. табл. 3). Достаточно высокий уровень устойчивости к по-

Таблица 3. Устойчивость линий ячменя к популяции и тест-клонам *Schizaphis graminum* RondaniTable 3. Resistance of barley lines to the population and test clones of *Schizaphis graminum* Rondani

Сорт, линия / Cultivar, line	Происхождение / Origin	Устойчивость к по- пуляции, балл / Resistance to the population, score	Частота виру- лентных клонов, % / Frequency of virulent clones, %	Клон <i>Schizaphis graminum</i> / Clone of <i>Schizaphis graminum</i>							
				1	2	3	4	5	6	7	8
Линии, выделенные из афганских образцов											
20209	Афганистан	3, 4, 5	3,2	R	R	R	S	R	R	R	R
22421	Афганистан	2, 3, 4	49,4	S	R	S	S	S	S	S	R
20750	Афганистан	3, 4, 7, 8, 10	37,6	S	S	R	S	R	R	S	R
9208	Афганистан	7, 9, 10	82,8	S	S	S	S	S	R	S	S
20670	Афганистан	8, 9, 10	91,4	S	S	S	S	S	S	S	S
20673	Афганистан	3, 4, 8, 9, 10	75,3	S	S	R	S	S	S	R	S
22426	Афганистан	9, 10	95,7	S	S	S	S	S	S	S	R
Линии с изученным генетическим контролем устойчивости											
16626	Россия	1, 2, 3, 4	3,2	R	R	R	R	R	R	R	R
3885	Монголия	6, 7, 8, 9	89,2	S	S	S	S	S	S	R	R
3904	Монголия	10	95,7	S	S	R	S	S	R	R	S
4080	Монголия	9, 10	96,8	S	S	R	S	S	S	S	S
15903	Китай	2, 3, 7, 8	16,1	R	S	R	R	R	R	R	S
15600	Китай	8, 9, 10	57,0	R	S	R	S	R	S	R	S
16190	Китай	9, 10	77,4	R	S	S	S	S	S	S	S
28129	Северная Корея	7, 9, 10	57,0	S	R	R	S	R	S	R	S
'Post' (ген <i>Rsg1</i>)	США	10	73,1	R	S	S	S	R	S	S	S
'Белогорский' (контроль)	Россия	10	100	S	S	S	S	S	S	S	S

пуляции *S. graminum* в 2023 г. сохранили две линии, имеющие по одному доминантному гену устойчивости: 16626 (Россия) и 15903 из Китая.

Следует отметить разительные изменения структуры краснодарской популяции обыкновенной злаковой тли. В 2021 г. было найдено 32–45% клонов, вирулентных к сорту 'Post' и линиям, выделенным из монгольских образцов (Radchenko et al., 2022), в 2023 г. – 73,1–96,8% (см. табл. 3). Ранее, в 2013 г., частота вирулентных к 'Post' клонов составляла 26–36%, к линии 16190 – 18%, 28129 – 30–34% и к линии 15600 – 44–50% (Radchenko et al., 2019); в 2023 г. эти частоты варьировали от 57,0% до 77,4% (см. табл. 3).

Значительный полиморфизм обитающих на Северном Кавказе популяций вредителя по вирулентности к образцам сорго, ячменя и овса отмечался нами и ранее. Например, в 2022 г. оценка поврежденности 11 линий ячменя 108 клонами обыкновенной злаковой тли позволила выявить 52 фенотипа вирулентности *S. graminum* (Radchenko et al., 2023a). В зерносеющих регионах страны на обширных площадях выращиваются неустойчивые к вредителю сорта ячменя. Так, среди 248 допущенных к использованию в России сортов только 11 содержали растения с отчетливо проявляющейся устойчивостью

к насекомому (Abdullaev et al., 2020). Очевидно, повсеместное возделывание восприимчивых сортов не способствует формированию и отбору фенотипов насекомого, обладающих специфической вирулентностью. Мы полагаем, что в Краснодарском крае фенотипы вирулентности (биотипы) *S. graminum* формируются только при питании вредителя на диких злаках. В литературе и ранее указывалось на важную роль диких растений в эволюции вирулентности насекомого (Anstead et al., 2003).

Анализировали расщепление F_2 от скрещивания линии 22421 с неустойчивым сортом 'Белогорский' при заселении растений краснодарской популяцией фитофага. В момент учета расщепления повреждение устойчивых образцов и гибридов F_1 соответствовало 1–3 баллам, то есть устойчивость доминировала. В комбинации скрещивания сорта 'Белогорский' с линией 22421 соотношение устойчивых (R) и восприимчивых (S) фенотипов удовлетворяло предположению о доминантном моногенном контроле анализируемого признака, однако не исключено и присутствие еще одного гена, у которого функциональным является рецессивный аллель (табл. 4).

Чтобы остановиться на одном из двух предположений, мы проанализировали семьи F_3 комбинации скрещивания 'Белогорский' × линия 22421. Соотношение устой-

Таблица 4. Расщепление по устойчивости к *Schizaphis graminum* Rondani гибридов F₂ от скрещивания линии 22421 с восприимчивым тестером**Table 4.** Segregation for greenbug resistance in F₂ hybrids from crossing 22421 with a susceptible tester

Комбинация скрещивания / Cross combination	Оценено растений / Total number of plants	Соотношение фенотипов R : S / Phenotype ratio R : S		χ^2	P
		фактическое / observed	теоретическое / expected		
'Белогорский' × линия 22421	157	121 : 36	3 : 1	0,359	0,50–0,75
			13 : 3	1,801	0,10–0,20
Линия 22421 × 'Белогорский'	312	248 : 64	3 : 1	3,350	0,05–0,10

Примечание: $\chi^2_{0,05} = 3,84$ Note: $\chi^2_{0,05} = 3.84$

чивых, расщепляющихся и восприимчивых семей 19R : 41RS : 20S соответствовало ожидаемому 20R : 40RS : 20S ($\chi^2 = 0,075$; P = 0,95–0,99) при моногенном доминантном контроле устойчивости к обыкновенной злаковой тле, то есть гипотеза о дигенном контроле признака отвергается.

Заключение

Разнообразие коллекции ячменя из Афганистана по генам устойчивости к *S. graminum* достаточно высоко. Вместе с тем очень высок и полиморфизм краснодарской популяции обыкновенной злаковой тли по вирулентности к изученным образцам ячменя. Различающиеся по степени поврежденности растений линии ячменя защищены генами устойчивости, эффективными против меньшей (линии 9208, 20670 и другие) или большей (линия 20209) части краснодарской популяции вредителя.

Выделенные из афганских образцов ячменя линии имеют различные аллели устойчивости, которые отличаются от *Rsg1*, а также от выявленных нами ранее аллелей, которыми защищены линии 3885, 3904, 4080 (Монголия), 15600, 15903, 16190 (Китай), 28129 (Северная Корея) и 16626 (РФ, Бурятия), однако их эффективность в большинстве случаев низка. Устойчивыми к популяции тли оказались две линии – 20209 и 22421. С помощью гибридологического анализа показано, что линия 22421 защищена одним доминантным геном устойчивости к *S. graminum*.

References / Литература

- Abdullaev R.A., Batasheva V.A., Alpatieva N.V., Chumakov M.A., Radchenko E.E., Kovaleva O.N. et al. Resistance of barley cultivars approved for use in Russia to harmful organisms and toxic aluminum ions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(3):120-127. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Баташева В.А., Алпатьева Н.В., Чумakov М.А., Радченко Е.Е., Ковалева О.Н. и др. Устойчивость допущенных к использованию в России сортов ячменя к вредным организмам и токсичным ионам алюминия. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(3):120-127). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-120-127
- Anstead J.A., Burd J.D., Shufran K.A. Over-summering and biotypic diversity of *Schizaphis graminum* (Homoptera: Aphididae) populations on noncultivated grass hosts. *Environmental Entomology*. 2003;32(3):662-667. DOI: 10.1603/0046-225X-32.3.662
- Armstrong J.S., Mornhinweg D.W., Payton M.E., Puterka G.J. The discovery of resistant sources of spring barley, *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*, and unique greenbug biotypes. *Journal of Economic Entomology*. 2016;109(1):434-438. DOI: 10.1093/jee/tov320
- Azhaguvel P., Mornhinweg D., Vidya-Saraswathi D., Rudd J.C., Chekhovskiy K., Saha M. et al. Molecular mapping of greenbug (*Schizaphis graminum*) resistance gene *Rsg1* in barley. *Plant Breeding*. 2014;133(2):227-233. DOI: 10.1111/pbr.12143
- Edwards L.H., Smith E.L., Pass H., Morgan G.H. Registration of Post barley. *Crop Science*. 1985;25(2):363.
- Gardenhire J.H., Chada H.L. Inheritance of greenbug resistance in barley. *Crop Science*. 1961;1(5):349-352. DOI: 10.2135/cropsci1961.0011183X000100050016x
- Gardenhire J.H., Tuleen N.A., Stewart K.W. Trisomic analysis of greenbug resistance in barley, *Hordeum vulgare* L. *Crop Science*. 1973;13(6):684-685. DOI: 10.2135/cropsci1973.0011183X001300060029x
- Merkle O.G., Webster J.A., Morgan G.H. Inheritance of a second source of greenbug resistance in barley. *Crop Science*. 1987;27(2):241-243. DOI: 10.2135/cropsci1987.0011183X002700020023x
- Puterka G.J., Peters D.C., Kerns D.L., Slosser J.E., Bush L., Worrall D.W. et al. Designation of two new greenbug (Homoptera: Aphididae) biotypes G and H. *Journal of Economic Entomology*. 1988;81(6):1754-1759. DOI: 10.1093/jee/81.6.1754
- Radchenko E.E. Cereal aphids (Zlakovye tli). In: *The study of the genetic resources of cereal crops for resistance to harmful organisms. Guidelines (Izucheniye geneticheskikh resursov zernovykh kultur po ustoychivosti k vrednym organizmam. Metodicheskoye posobiye)*. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences; 2008. p.214-257. [in Russian] (Радченко Е.Е. Злаковые тли. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.214-257).
- Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Akimova D.E., Anisimova I.N. Genetic diversity of barley accessions from East Asia for greenbug resistance. *Plants (Basel)*. 2023a;12(22):3797. DOI: 10.3390/plants12223797
- Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Akimova D.E., Zajtseva I.Y. Genetic diversity of barley accessions from Mongolia for greenbug resistance. *Ecological Genetics*. 2022;20(3):175-182. [in Russian] (Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А., Акимова

- ва Д.Е., Зайцева И.Ю. Генетическое разнообразие образцов ячменя из Монголии по устойчивости к обыкновенной злаковой тле. *Экологическая генетика*. 2022;20(3):175-182. DOI: 10.17816/ecogen105875
- Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Dyatlova K.D., Akimova D.E., Zveinek I.A. Diversity of barley accessions from the Asian part of Russia in greenbug resistance. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2023b;184(4):215-221. [in Russian] (Радченко Е.Е., Абдуллаев Р.А., Дятлова К.Д., Акимова Д.Е., Звейнек И.А. Разнообразие образцов ячменя из азиатской части Российской Федерации по устойчивости к обыкновенной злаковой тле. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023b;184(4):215-221). DOI: 10.30901/2227-8834-2023-4-215-221
- Radchenko E.E., Alpatieva N.V., Chumakov M.A., Abdullaev R.A. Variability of the North Caucasian populations of the greenbug for host virulence and discovered by molecular markers. *Russian Journal of Genetics*. 2019;55(11):1417-1425. DOI: 10.1134/S1022795419110127
- Radchenko E.E., Kuznetsova T.L., Chumakov M.A., Loskutov I.G. Greenbug (*Schizaphis graminum*) resistance in oat (*Avena* spp.) landraces from Asia. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2018;65(2):571-576. DOI: 10.1007/s10722-017-0554-9
- Radchenko E.E., Kuznetsova T.L., Zveinek I.A., Kovaleva O.N. Greenbug resistance in barley accessions from East and South Asia. *Russian Agricultural Sciences*. 2014;40(2):117-120. DOI: 10.3103/S1068367414020177
- Radchenko E.E., Odintsova I.G., Vlasova T.V. Inheritance of a weakly expressed greenbug resistance in sorghum. *Russian Journal of Genetics*. 2001;37(10):1144-1149. DOI: 10.1023/A:1012352521382
- Radchenko E.E., Zubov A.A. Genetic diversity of sorghum in greenbug resistance. *Russian Agricultural Sciences*. 2007;33(4):223-225. DOI: 10.3103/S1068367407040039
- Shaposhnikov G.Kh. Aphid evolution in connection with specialization and changes of hosts (Evolutsiya tley v svyazi so spetsializatsiyey i smenoy khozyayev) [dissertation]. Leningrad: Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences; 1967. [in Russian] (Шапошников Г.Х. Эволюция тлей в связи со специализацией и сменой хозяев: дис. ... докт. биол. наук. Ленинград: Зоологический институт АН СССР; 1967).
- Smith O.D., Schlehner A.M., Curtis B.C. Inheritance studies of greenbug (*Toxoptera graminum* Rond.) resistance in four varieties of winter barley. *Crop Science*. 1962;2(6):489-491.
- Xu X., Mornhinweg D., Bai G., Li G., Bian R., Bernardo A. Characterization of a new barley greenbug resistance gene *Rsg4* in the Chinese landrace CI 2458. *The Plant Genome*. 2024;17(4):e20527. DOI: 10.1002/tpg2.20527
- Xu X., Mornhinweg D., Bai G., Li G., Bian R., Bernardo A. et al. Characterization of *Rsg3*, a novel greenbug resistance gene from the Chinese barley landrace PI565676. *The Plant Genome*. 2023;16(1):e20287. DOI: 10.1002/tpg2.20287
- Xu X., Mornhinweg D., Bernardo A., Li G., Bian R., Steffenson B.J. et al. Characterization of *Rsg2.a3*: A new greenbug resistance allele at the *Rsg2* locus from wild barley (*Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*). *The Crop Journal*. 2022;10(6):1727-1732. DOI: 10.1016/j.cj.2022.01.010
- Xu X., Mornhinweg D.W., Bai G., Steffenson B., Bian R., Li G. et al. *Rsg1.a3*: A new allele conferring unique resistance to greenbug Biotype H at the *Rsg1* locus in *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum*. *Crop Science*. 2021;61(5):3578-3585. DOI: 10.1002/csc2.20581

Информация об авторах

Евгений Евгеньевич Радченко, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

Ольга Николаевна Ковалева, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

Ренат Абдуллаевич Абдуллаев, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

Information about the authors

Evgeny E. Radchenko, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, eugene_radchenko@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3019-0306>

Olga N. Kovaleva, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, o.kovaleva@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3990-6526>

Renat A. Abdullaev, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, abdullaev.1988@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1021-7951>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.03.2026; одобрена после рецензирования 20.04.2026; принята к публикации 04.05.2026. The article was submitted on 12.03.2026; approved after reviewing on 20.04.2026; accepted for publication on 04.05.2026.