

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья
УДК 633.16:632.732
DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113



Генетический контроль устойчивости сортов ярового ячменя к шведской мухе

А. Г. Семенова¹, Е. Е. Радченко²

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

² 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. За последнее десятилетие существенно возросла вредоносность шведских мух (*Oscinella frit* L. и *O. pusilla* Meig.) на посевах ячменя и других зерновых культур, что связывают с глобальным изменением климата и повсеместными нарушениями агротехники. Дополнением либо альтернативой агротехническим и химическим мерам ограничения численности фитофагов является селекция устойчивых форм. Возделывание генетически защищенных сортов экономично, экологически безопасно и не наносит вреда полезным организмам. Необходимые условия успешной селекции – выявление слабо повреждаемых шведскими мухами образцов ячменя, изучение механизмов устойчивости и способа наследования признака.

Материалы и методы. На провокационном фоне заселения ячменя *O. frit* изучали генетический контроль устойчивости к фитофагу у сортов ярового ячменя 'Белогорский' (к-22089, Ленинградская обл.) и 'Nordic' (к-22342, США) при их скрещивании с восприимчивым сортом 'Криничный' (к-27605, Беларусь). В период кушения определяли поврежденность главных стеблей родительских форм, а также гибридов F_1 и F_2 .

Результаты и выводы. Обсуждаются ожидаемое и фактическое соотношения фенотипов гибридов F_2 с учетом степени повреждения *O. frit* гомозигот по генам устойчивости, а также гетерозигот (F_1). Выявлено моногенное не полностью доминантное наследование устойчивости к овсяной шведской мухе у двух изученных сортов. Эти гены имеют разную экспрессивность: ген сорта 'Белогорский' контролирует 15,4-процентное повреждение насекомым главных стеблей, а ген сорта 'Nordic' – повреждение личинками 5,3% стеблей. Изученные образцы могут быть рекомендованы в качестве доноров устойчивости для селекции на иммунитет к шведской мухе.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., *Oscinella frit* L., поврежденность, гены устойчивости, неполная пенетрантность, селекция растений

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».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Семенова А.Г., Радченко Е.Е. Генетический контроль устойчивости ячменя к шведской мухе. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025;186(2):108-113. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113

Genetic control of frit fly resistance in spring barley cultivars

Alla G. Semenova¹, Evgeny E. Radchenko²¹ St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia**Corresponding author:** Evgeny E. Radchenko, eugene_radchenko@rambler.ru

Background. Over the last decade, the harmfulness of frit flies (*Oscinella frit* L., and *O. pusilla* Meig.) on barley and other cereals has increased significantly, which is associated with global climate change and widespread violations of agricultural practices (for example, the wide use of surface tillage techniques). A supplement or alternative to agrotechnical and chemical measures to control the abundance of phytophages is the breeding of resistant cultivars. This control method is economical, environmentally friendly, and harmless for beneficial organisms. Successful breeding for this trait requires identification of barley genotypes resistant to frit flies, and studying the mechanisms of such resistance and patterns of its inheritance.

Materials and methods. Using provocative conditions of infestation with *O. frit*, the genetic control of resistance to the phytophage was studied in the spring barley cultivars 'Belogorsky' (k-22089, Leningrad Province) and 'Nordic' (k-22342, USA), when crossed with the susceptible cultivar 'Krinichny' (k-27605, Belarus). During the tillering period, damage to the main stems of the parent forms, as well as F_1 and F_2 hybrids, was assessed.

Results and conclusions. The expected and factual ratios of phenotypes were calculated, taking into account the percentage of damage to homozygotes as well as heterozygotes (F_1) for resistance and susceptibility genes. Incompletely dominant monogenic inheritance of the frit fly resistance trait was observed in the two studied cultivars. Their genes showed different expressiveness: the gene in cv. 'Belogorsky' controlled 15.4% of the insect damage to the main stems, and the gene in cv. 'Nordic' controlled larval damage to 5.3% of the stems. The studied accessions can be recommended as donors for breeding for frit fly resistance.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., *Oscinella frit* L., damage, resistance genes, incomplete penetrance, plant breeding

Acknowledgements: the study was conducted within the framework of the state task according to the theme plan of VIR, Project No. FGEM-2022-0009 "Structuring and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and grain crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Semenova A.G., Radchenko E.E. Genetic control of frit fly resistance in spring barley cultivars. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(2):108-113. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-2-108-113

Введение

В России и сопредельных странах на зерновых и кормовых культурах питаются 73 вида мух (Narchuk, 1981). Повсеместно распространены и вредоносны два вида – овсяная (*Oscinella frit* L.) и ячменная (*O. pusilla* Meig.) шведские мухи (Illarionov, Samsonov, 2010). Вредоносность *O. frit* особенно значительна в Нечерноземной зоне России, тогда как *O. pusilla* распространена преимущественно в регионах с сухим климатом (Pavlov, 1983).

На Северо-Западе России экономически важный ущерб наносят личинки, которые в фазу кушания, питаясь эмбриональными тканями растения ячменя, разрушают конус нарастания, то есть фактически уничтожают стебель, что внешне проявляется в усыхании центрального листа. Отмечено, что в случае позднего срока сева поврежденность главных стеблей ячменя может достигать 60%, а всех стеблей – 50% (Semenova et al., 2021). За последнее десятилетие вредоносность шведских мух существенно возросла, что связывают с глобальным изменением климата и повсеместным использованием поверхностных способов обработки почвы (Shpanev, 2022).

Скрытый образ жизни вредителя определяет сложность организации химической борьбы. Дополнением либо альтернативой агротехническим и химическим мерам ограничения численности насекомого является выделение генетически защищенных сортов. Эта стратегия борьбы экологически безопасна, не наносит вреда полезной энтомофауне и наиболее экономична в сравнении с широко используемыми способами защиты растений. Для успешной селекции на иммунитет необходимо идентифицировать надежные источники устойчивости к вредителю, изучить возможные механизмы слабой повреждаемости растений и характер наследования признака устойчивости.

Отечественные работы, посвященные устойчивости зерновых культур к шведской мухе, весьма многочисленны, иностранная литература очень скудна. Следует отметить многолетние исследования П. Г. Чеснокова, который в результате анализа генетических ресурсов ячменя и других зерновых культур по устойчивости к шведской мухе подтвердил сформулированные Н. И. Вавиловым закономерности эколого-географической дифференциации растений по иммунитету. Было показано, что слабо повреждаются насекомым образцы ячменя из Аравии, а местные формы из Малой Азии достаточно выносливы к повреждению. Устойчивые к шведской мухе образцы ячменя происходят из Сибири, некоторых районов Кавказа, предгорных зон Закавказья, из Казахстана, а также из стран Западной Европы (Chesnokov, 1956).

Восприимчивые к шведской мухе образцы ячменя содержат больше каротиноидов и хлорофилла в сравнении с устойчивыми генотипами. Повышенная концентрация этих соединений в тканях растений свидетельствует о более высоком содержании легко утилизируемых биополимеров, что в итоге обуславливает сильную поврежденность растений. Показано, что в листьях устойчивых образцов накапливается больше сухого вещества, чем в тканях сильно повреждаемых генотипов (Budnitskaia, 1952; Semenova, Nefedova, 2005).

Ускоренный рост в начальный период развития растений может быть важным фактором устойчивости к шведской мухе. В этом случае личинка не успевает внедриться, вытесняется из зоны конуса нарастания и в результате погибает. На сортах с интенсивным начальным ростом к месту питания добирается до 3% личинок, а по-

врежденность стеблей у сортов, характеризующихся медленным начальным ростом, достигает 85% (Velibekova et al., 2017; Ershova, Golova, 2019).

Установлено, что умеренно устойчивые образцы ячменя обладают более широкими компенсаторными возможностями (то есть повышенной кустистостью в ответ на повреждение насекомым) по сравнению с восприимчивыми генотипами (Semenova, Nefedova, 2005; Velibekova et al., 2017; Ershova, Golova, 2019).

Упомянутые выше общебиологические признаки, сформировавшиеся в эволюции независимо от вредителя, защищают растения от повреждения фитофагом. Зависящая от таких признаков устойчивость чаще всего наследуется полигенно. Нам известна всего лишь одна публикация, обсуждающая олигогенно контролируемую устойчивость ячменя. Установлено, что по одному доминантному независимому гену устойчивости, которые контролируют слабую поврежденность растений фитофагом, имеют линии, выделенные из образцов ярового ячменя Прекоциус 123-2-1 (к-734, Армения) и Местный 5-2 (к-6618, Армения) (Semenova, Odintsova, 1993).

Цель настоящей работы – исследовать генетический контроль устойчивости к шведской мухе у двух сортов ярового ячменя, выделенных нами в предыдущих исследованиях (Semenova et al., 2014, 2021).

Материалы и методы

В 2023 г. изучили наследование устойчивости к шведской мухе сортов 'Белогорский' (к-22089, Ленинградская обл.) и 'Nordic' (к-22342, США), которые в течение многих лет на Северо-Западе России стабильно слабо повреждались насекомым. Выделенные образцы в 2022 г. скрещивали с восприимчивым сортом 'Криничный' (к-27605, Беларусь) на экспериментальном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург, Пушкин). Материнские устойчивые растения кастрировали по общепринятой методике. Кастрированные колосья опыляли пылью неустойчивого (отцовская форма) сорта twell-методом (Merezhko et al., 1973). Часть семян F_1 репродуцировали в оранжерее для получения семян F_2 .

Опыты проводили в поле на провокационном фоне (разреженный поздний посев рядом с озимой рожью), который обеспечивает сильное заселение растений шведской мухой (Chesnokov, 1956). Зерновки родительских форм, гибридов F_1 и F_2 высевали деланками в метровые ряды с расстоянием между ними 20 см, в ряду – 5 см. Для соблюдения равенства генотипических классов экспериментальный материал высевали одновременно двумя блоками, каждый из которых включал:

- гомозиготы по генам устойчивости (устойчивый сорт);
- гомозиготы по генам восприимчивости (восприимчивый сорт);
- гетерозиготы (гибриды F_1);
- гибриды F_2 .

Повторяющийся восприимчивый сорт ('Криничный') высевали в каждом блоке.

Растения заселяла преимущественно овсяная шведская муха, численность имаго которой среди отловленных при кошении сачком особей превышала 90%, что согласуется с наблюдениями А. М. Шпанева, который в отловах на посевах ячменя и других зерновых культур в Ленинградской области идентифицировал 99% имаго *O. frit* и лишь единичные особи *O. pusilla* (Shpanev, 2022).

Абсолютно устойчивых к фитофагу сортов нет, выделяют только слабо повреждаемые образцы. Устойчивые к шведской мухе сорта ячменя отличаются от восприимчивых по частоте (%) поврежденных растений. Экспрессия устойчивости лишь у части растений анализируемого сорта может зависеть от условий опыта, от гетерогенности данного сорта по изучаемому признаку, а также от пенетрантности, то есть частоты или вероятности проявления генов. Пенетрантность может быть полной и неполной, если у части особей, несущих данный ген, он не проявляется в фенотипе. В наших опытах «шумы» (гетерогенность и различие условий опыта) были минимизированы, что позволило анализировать признак устойчивости ячменя к шведской мухе как не полностью пенетрантный.

Определяли процент растений, заселенных личинками вредителя во всех элементах экспериментального блока: у гибридов F_2 , у гомозигот по гену (генам) устойчивости (AA – сорта 'Белогорский' и 'Nordic'), гомозигот по гену (генам) восприимчивости (aa – сорт 'Криничный') и гетерозигот (Aa – гибриды F_1). Данные полевых учетов использовали для расчета поправок на пенетрантность признака устойчивости у соответствующих генотипических классов при расчете ожидаемых соотношений поврежденных и неповрежденных растений гибридов F_2 (Radchenko, Odintsova, 2008).

Степень соответствия фактического расщепления теоретически ожидаемому оценивали с помощью критерия χ^2 , который рассчитывали по формуле:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f-F)^2}{F},$$

где F – ожидаемые, f – фактически полученные данные. Если вычисленное значение χ^2 не превышало таб-

личного значения χ^2 , находящегося в графе с вероятностью 0,05 (то есть 3,84), считали, что фактически полученные данные удовлетворительно соответствуют теоретически ожидаемым.

Результаты и обсуждение

По наличию симптомов повреждения классифицировали 190 растений гибридов F_2 комбинации скрещивания 'Nordic' × 'Криничный'. Среди них 162 растения были здоровыми, 28 повреждены (имели стебли с усохшим центральным листом). Повреждение главного стебля выявили у четырех растений F_1 из 21 изученного. В исследуемой выборке (190 растений F_2) ожидается 47,5 растений с генотипом AA. Этот генотипический класс должен содержать, как и сорт 'Nordic', 5,3% поврежденных растений. Ожидаемое число поврежденных растений этого класса составляет 2,52, а неповрежденных – 44,98. Ожидаемое число здоровых и поврежденных растений класса Aa (с поправкой на поврежденность гибридов F_1 19%) составляет 76,95 и 18,05 растений соответственно, а класса aa – 38,43 и 9,07 (табл. 1). Ожидаемое соотношение фенотипических классов – 160,36 здоровых и 29,64 поврежденных, что соответствует фактически наблюдаемому ($\chi^2 = 0,1075$; $P = 0,50-0,75$).

При фенотипировании 359 растений F_2 комбинации 'Белогорский' × 'Криничный' 286 растений не имели симптомов повреждения, у 73 выявлено усыхание главного стебля. У шести растений F_1 из 27 обнаружено повреждение главного стебля. Анализ данных о соотношении здоровых и поврежденных растений у гибридов F_2 (табл. 2) соответствует предположению о контроле признака устойчивости к шведской мухе одним геном ($\chi^2 = 0,0003$; $P = 0,95-0,98$).

Таблица 1. Расщепление по устойчивости к шведской мухе гибридов от скрещивания устойчивого сорта 'Nordic' (AA) с неустойчивым сортом 'Криничный' (aa)

Table 1. Segregation for frit fly resistance among the hybrids from crossing the resistant cv. 'Nordic' (AA) with the susceptible cv. 'Krinichny' (aa)

Генотип / Genotype	% поврежденных растений / % of damaged plants	Ожидаемое число растений при соотношении 1 : 2 : 1 / Expected number of plants at a ratio of 1 : 2 : 1		
		всего / total	здоровых / undamaged	поврежденных / damaged
AA	5,3	47,5	44,98	2,52
Aa	19,0	95	76,95	18,05
aa	19,1	47,5	38,43	9,07
Соотношение фенотипов	ожидаемое	190	160,36	29,64
	фактическое	190	162	28

Таблица 2. Расщепление по устойчивости к шведской мухе гибридов от скрещивания устойчивого сорта 'Белогорский' (AA) с неустойчивым сортом 'Криничный' (aa)**Table 2.** Segregation for frit fly resistance among the hybrids from crossing the resistant cv. 'Belogorsky' (AA) with the susceptible cv. 'Krinichny' (aa)

Генотип / Genotype	% поврежденных растений / % of damaged plants	Ожидаемое число растений при соотношении 1 : 2 : 1 / Expected number of plants at a ratio of 1 : 2 : 1		
		всего / total	здоровых / undamaged	поврежденных / damaged
AA	15,4	89,75	75,93	13,82
Aa	22,2	179,5	139,65	39,85
aa	21,1	89,75	70,81	18,94
Соотношение фенотипов	ожидаемое	359	286,39	72,61
	фактическое	359	286	73

Заключение

Полученные нами результаты согласуются с предположением о моногенном не полностью доминантном контроле устойчивости к шведской мухе у сортов 'Белогорский' и 'Nordic'. Эти гены имеют разную экспрессивность: ген сорта 'Белогорский' контролирует 15,4-процентное повреждение насекомым, а ген сорта 'Nordic' – повреждение личинками 5,3% стеблей. Выделившиеся доноры устойчивости рекомендуются для использования в селекции на иммунитет к опасному фитофагу.

References / Литература

- Budnitskaya E.V. Modern ideas about the biosynthesis and physiological role of carotenoids (Sovremennye predstavleniya o biosinteze i fiziologicheskoy roli karotinoidov). *Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR*. 1952;(4):80-82. [in Russian] (Будницкая Е.В. Современные представления о биосинтезе и физиологической роли каротиноидов. *Известия Академии наук СССР*. 1952;(4):80-82).
- Chesnokov P.G. Resistance of cereal crops to insects (Ustoychivost zernovykh kultur k nasekomym). Moscow: Sovyetskaya Nauka; 1956. [in Russian] (Чесноков П.Г. Устойчивость зерновых культур к насекомым. Москва: Советская наука; 1956).
- Ershova L., Golova T. Estimation of stability of perspective lines and sorts of a spring barley to stratosfernye pests. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2019;3(58):67-70. [in Russian] (Ершова Л.А., Голова Т.Г. Оценка устойчивости перспективных линий и сортов ярового ячменя к скрытостебельным вредителям. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2019;3(58):67-70).
- Illarionov A.I., Samsonov R.A. Corn flies: spreading, harmfulness and their number restriction practice. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2010;1(24):10-26. [in Russian] (Илларионов А.И., Самсонов Р.А. Злаковые мухи: распространение, вредоносность и приемы ограничения их численности. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2010;1(24):10-26).

Merezhko A.F., Ezrokhin L.M., Yudin A.E. Guidelines for an effective pollination technique for cereal crops (Metodicheskiye ukazaniya po effektivnomu metodu opyleniya zernovykh kultur). Leningrad: VIR; 1973. [in Russian] (Мережко А.Ф., Эзрохин Л.М., Юдин А.Е. Методические указания по эффективному методу опыления зерновых культур. Ленинград: ВИР; 1973).

Narchuk E.P. Chloropidae family – grass flies (Semeystvo Chloropidae – zlakovye mukhi). In: *Insects and Mites, Crop Pests: in 4 volumes. Vol. 4. Hymenoptera and Diptera (Nasekomye i kleshchi – vrediteli selskokhozyaystvennykh kultur: v 4 tomakh. T. 4. Pereponchatokrylye i dvukrylye)*. Leningrad: Nauka; 1981. p.161-187. [in Russian] (Нарчук Э.П. Семейство Chloropidae – злаковые мухи. В кн.: *Насекомые и клещи – вредители сельскохозяйственных культур. Т. 4. Перепончатокрылые и двукрылые*. Ленинград: Наука; 1981. С.161-187).

Pavlov I.F. Protection of field crops from pests (Zashchita polevykh kultur ot vreditel'ey). Moscow: Rosselkhozizdat; 1983. [in Russian] (Павлов И.Ф. Защита полевых культур от вредителей. Москва: Россельхозиздат; 1983).

Radchenko E.E., Odintsova I.G. Identification of cereal genes for resistance to harmful organisms (Identifikatsiya genov ustoychivosti zernovykh kultur k vrednym organizmam). In: *Studying Cereal Crop Genetic Resources 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.306-331. [in Russian] (Радченко Е.Е., Одицова И.Г. Идентификация генов устойчивости зерновых культур к вредным организмам. В кн.: *Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам. Методическое пособие*. Москва: Россельхозакадемия; 2008. С.306-331).

Semenova A.G., Anisimova A.V., Kovaleva O.N. Resistance of modern spring barley cultivars to harmful organisms. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(4):108-116. [in Russian] (Семенова А.Г., Анисимова А.В., Ковалева О.Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(4):108-116). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116

- Semenova A.G., Kovaleva O.N., Orlov S.Yu., Yudin I.O. Resistance of barley varieties to *Oscinella frit*. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2014;(7):16-18. [in Russian] (Семенова А.Г., Ковалева О.Н., Орлов С.Ю., Юдин И.О. Устойчивость к шведской мухе сортов ячменя. *Защита и карантин растений*. 2014;(7):16-18).
- Semenova A.G., Nefedova L.I. Factors of barley resistance to oat frit fly (Faktory ustoichivosti yachmenya k ovsyanoj shvedskoy mukhe). *Plant Protection News*. 2005;(1):38-44. [in Russian] (Семенова А.Г., Нефедова Л.И. Факторы устойчивости ячменя к овсяной шведской мухе. *Вестник защиты растений*. 2005;(1):38-44).
- Semenova A.G., Odintsova I.G. Inheritance of resistance to frit flies in barley. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 1993;147:61-66. [in Russian] (Семенова А.Г., Одинцова И.Г. Наследование устойчивости к шведским мухам у ячменя. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 1993;147:61-66).
- Shpanev A.M. Frit flies (Diptera: Chloropidae, *Oscinella* spp.) in the agroecosystems of agricultural crops of the North-West of Russia. *Proceedings of the Russian Entomological Society*. 2022;93:178-186. [in Russian] (Шпанев А.М. Шведские мухи (Diptera: Chloropidae, *Oscinella* spp.) в агроценозах сельскохозяйственных культур Северо-Запада России. *Труды Русского энтомологического общества*. 2022;93:178-186). DOI: 10.47640/1605-7678_2022_93_178
- Velibekova E.I., Ershova L.A., Malokostova E.I. Resistance of spring wheat and barley genotypes to harmful organisms. *Journal of Plant Protection and Quarantine*. 2017;(10):13-15. [in Russian] (Велибекова Е.И., Ершова Л.А., Малокозова Е.И. Устойчивость генотипов яровой пшеницы и ячменя к вредным организмам. *Защита и карантин растений*. 2017;(10):13-15).

Информация об авторах

Алла Георгиевна Семенова, кандидат биологических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601 Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2, a.g.semenova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2817-8615>

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>

Information about the authors

Alla G. Semenova, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, St. Petersburg State Agrarian University, 2 Peterburgskoye Hwy., Pushkin, St. Petersburg 196601, Russia, a.g.semenova@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2817-8615>

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>

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 06.02.2025; одобрена после рецензирования 01.04.2025; принята к публикации 14.04.2025. The article was submitted on 06.02.2025; approved after reviewing on 01.04.2025; accepted for publication on 14.04.2025.