

ДИАГНОСТИКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ОБРАЗЦОВ ГОРОХА (*Pisum sativum* L.) ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР

Семенова Е.В.*, Косарева И.А.

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР), 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;

* ✉ semenova@vir.nw.ru

Актуальность. В результате глобального потепления, в настоящее время происходит изменение климата, влекущее за собой увеличение частоты и продолжительности засух. Поэтому первостепенное значение имеет создание новых сортов с повышенной засухоустойчивостью и адаптированных к определенным условиям. Цель данной работы – модификация экспресс-метода оценки засухоустойчивости гороха на раннем этапе роста и развития растений и диагностика данным методом 50 образцов из коллекции ВИР. **Материалы и методы.** В изучение были взяты образцы овощного гороха различного эколого-географического происхождения, предварительно изученные в полевом опыте в условиях Краснодарского края в период с 2017 по 2019 год. Для диагностики ранней засухоустойчивости гороха использовали рулонный метод оценки. Модифицировали напряженность стрессового воздействия фона – концентрацию сахарозы в растворе, используемом для роста проростков гороха. Для подбора концентрации исследовали растворы с осмотическим давлением 0,5 и 0,7 МПа. Для диагностики ранней засухоустойчивости был выбран раствор с осмотическим давлением 0,5 МПа. Диагностическим критерием метода является индекс длины корня (ИДК) – отношение усредненной длины корешков проростков на провокационном фоне к контрольным значениям. **Результаты.** Осмотически активный раствор (сахарозы) приводил к существенному снижению длины корней проростков гороха. Изученные образцы демонстрировали значительную генотипическую изменчивость по ранней засухоустойчивости, значение ИДК варьировало от 0,28 до 0,88. Выделены образцы - источники высокой засухоустойчивости в период роста проростков. Корреляционный анализ показал отсутствие достоверной связи между ИДК и показателями структуры урожая (коэффициенты корреляции от $r = +0,17$ до $r = -0,24$). **Заключение.** Используя метод определения относительной засухоустойчивости на ранних этапах развития образцов гороха выделены один высокоустойчивый образец (к-9333 из Марокко) и 10 устойчивых (к-1495, к-9372, к-9401, к-9418, к-9733, к-9909, к-9934, к-9938, к-10072, к-10116.).

Ключевые слова: горох, рулонный метод, индекс длины корня, устойчивость к засухе, осмотическое давление, раствор сахарозы, генотипическое разнообразие.

Для цитирования:

Семенова Е.В., Косарева И.А. Диагностика засухоустойчивости образцов гороха (*Pisum sativum* L.) из коллекции ВИР. *Биотехнология и селекция растений*. 2021;4(2):5-14. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-01

Прозрачность финансовой деятельности. Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. **Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.** **Дополнительная информация.** Полные данные этой статьи доступны <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-01> **Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы. Все авторы одобрили рукопись. Конфликт интересов отсутствует.**

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0002 «Научное обеспечение эффективного использования мирового генофонда зернобобовых культур и их диких родичей из коллекции ВИР».

EVALUATION OF THE DROUGHT RESISTANCE OF PEA (*Pisum sativum* L.) FROM THE VIR COLLECTION

Semenova E.V.*, Kosareva I.A.

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR),
42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 19000, Russia;

* ✉ semenova@vir.nw.ru

Background. As a result of global warming, climate change is now taking place, increasing the frequency and duration of droughts. Therefore, the development of new varieties with an increased drought resistance and adaptation to certain environmental conditions is of primary importance. The aim of this work was to modify the express method of drought resistance evaluation in peas at an early stage of plant growth and development, and to apply this method to test 50 accessions from the VIR global collection. **Materials and methods.** Drought resistance studies involved garden pea accessions of different eco-geographic origin, which had been previously characterized in field tests in conditions of the Krasnodar Territory in 2017-2019. The roll-ups protocol was used for evaluating early drought resistance in the accessions. The stress intensity was modified by varying the concentration of sucrose in the solution used for growing of pea seedlings. To select an appropriate concentration, an osmotic pressure of 0.5 and 0.7 MPa was applied. As a result, the osmotic pressure of 0.5 MPa was chosen. The diagnostic criterion of the method is the radicle length index (RLI), that is, the ratio of the average radicle length of seedlings against a provocative background to the control values. **Results.** The osmotically active solution led to significant reduction in the radicle length of pea seedlings. The studied accessions exhibited considerable genetic variability for early drought tolerance, the RLI value varied from 0.28 to 0.88. Sources of high drought resistance during the period of seedling growth have been identified. The correlation analysis showed the absence of a reliable relationship between the RLI and the crop structure indicators (correlation coefficients from $r = +0.17$ to $r = -0.24$). **Conclusion.** By using the method of determining the relative drought tolerance at early stages of pea accessions development, one highly resistant (k-9333 from Morocco) and 10 resistant accessions (k-1495, k-9372, k-9401, k-9418, k-9733, k-9909, k-9934, k-9938, k-10072, and k-10116.) have been identified.

Key words: pea, roll-ups protocol, radicle length index, drought resistance, osmotic pressure, sucrose solution, genotypic diversity.

For citation:

Semenova E.V., Kosareva I.A. Evaluation of the drought resistance of pea (*Pisum sativum* L.) from the VIR collection. *Plant Biotechnology and Breeding*. 2021;4(2):5-14. (In Russ.). DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-01

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. Additional information.

Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2021-2-01> **The journal's opinion is neutral to the presented materials, the author, and his or her employer. All authors approved the manuscript. No conflict of interest.**

ORCID ID:

Semenova E.V. <https://orcid.org/0000-0002-2637-1091>

Kosareva I.A. <https://orcid.org/0000-0001-9654-7235>

УДК 633.358:581.1:631.671.3

Поступила в редакцию: 29.04.2021

Принята к публикации: 22.06.2021

Acknowledgments: The work was carried out in the framework of the State Assignment according to the Thematic Plan of VIR, Project No. 0662-2019-0002 "Scientific support for the effective use of the World Gene Pool of leguminous crops and their wild relatives from the VIR Collections".

Введение

Процесс глобального потепления в настоящее время приводит к изменению погодных условий, в результате чего увеличиваются частота и продолжительность засух различного происхождения (Hari et al., 2020). Около 41% почв в мире подвержено этому неблагоприятному стрессорному воздействию. Засуха приводит к существенным изменениям в растительном организме. Изменяются практически все стороны метаболизма растения (Takahashi et al., 2020). Обезвоживание клетки приводит к снижению уровня процессов синтеза ряда веществ; напротив, активизируются гидролитические реакции. Увеличивается проницаемость плазмалеммы, изменяется гормональный статус, уровень азотного и фосфорного обменов. Недостаток влагообеспечения клетки приводит к снижению содержания белка, РНК (Polevoy et al., 2001). Интенсивность фотосинтеза и дыхания особенно снижаются при длительной засухе. Нарушается отток ассимилятов, тормозятся деление и растяжение клеток. Это неизбежно приводит к задержке роста растений и снижению их продуктивности (Kozhushko, 1991).

Коллекция гороха ВИР имени Н.И. Вавилова в настоящее время насчитывает более восьми тысяч образцов и отражает все мировое разнообразие данной культуры. Создание новых сортов требует всестороннего изучения мирового генофонда гороха, так как известно, что генетическая основа сорта обеспечивает его способность к адаптации (Vishnyakova et al., 2019). В Российской Федерации проводятся исследования по диагностике устойчивости образцов мировой коллекции гороха к абиотическим факторам среды (Vishnyakova et al., 2015; Puhalsky et al., 2017; Kosareva et al., 2018b), в том числе, и исследования по диагностике засухоустойчивости (Novikova, 2005; Filatova, Brailova, 2018; Soboleva, Belyaeva, 2020; Soboleva et al., 2020).

Горох – относительно влаголюбивая культура, по требовательности к влаге он превышает такие зернобобовые культуры, как фасоль, чечевица, нут и чина (Makasheva, 1979). В РФ проводятся полевые исследования генотипического разнообразия гороха на устойчивость к засухам различного типа. Известен засухоустойчивый сорт зернового гороха Чишминский 229, выведенный в Башкирии. Он превышает стандарт по продуктивности в засушливые годы (Поров, 2011). Исследования по выявлению исходного материала для выведения стабильных по продуктивности сортов гороха в засушливой зоне проведены А.А. Лысенко и Н.А. Коробовой (Lysenko, Korobova, 2019).

Для начала ростовых процессов семян, особенно мозгового гороха, требуется 100-110% влаги от их массы (Makasheva, 1979). В связи с этим, особенно актуально изучение ранней засухоустойчивости гороха на стадии прорастания семян и роста проростков. В рулонной культуре такие исследования на образцах гороха ранее не проводились, но они необходимы для получения пол-

ной информации о хранимых в коллекции генотипах. Исследования в этом направлении способствуют расширению наших представлений о методах подбора исходного материала уже в генобанке. Это первый этап пребридинговой селекции гороха. В ВИР традиционно в исследованиях засухоустойчивости экспресс-методом используют растворы осмотика (сахароза, полиэтиленгликоль), связывающего воду при росте зародышевых корешков и ростков. Растворы сахарозы, имитирующие раннюю засуху, могут быть использованы в разных концентрациях и подобраны в зависимости от устойчивости культуры к засухе. Способ выращивания проростков также различается в зависимости от целей исследования (Udovenko, 1988).

При лабораторной экспресс-диагностике устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды необходимо соблюдать определенные правила. В первую очередь, используемый семенной материал должен быть здоровым, желательным одного года и места репродукции, с высокими всхожестью и энергией прорастания. Так как степень неблагоприятного воздействия на растения в большей степени зависит от сопутствующих условий (в данном случае, от температуры), важно поддерживать заданные условия внешней среды (Kosareva, 2012).

Описываемый метод мы уже применяли для оценки ранней засухоустойчивости другого зернобобового растения – видов вики (Kosareva et al., 2018a). С его использованием были выделены образцы-источники ранней засухоустойчивости, а также комплексной устойчивости к засухе и засолению. Установленные для вики параметры тест-системы для ранней оценки засухоустойчивости не подходят для культуры гороха, что было показано опытным путем, поэтому необходима модификация метода применительно к гороху. В связи с вышесказанным, цель настоящих исследований – разработать модификацию экспресс-метода лабораторной диагностики засухоустойчивости образцов гороха и выделить источники засухоустойчивости среди образцов генобанка ВИР.

Материалы и методы

Полевую оценку 500 образцов гороха овощного направления использования проводили в 2017-2019 годах в условиях Краснодарского края. Изучение проводили в соответствии с методическими указаниями, разработанными в ВИР (Vishnyakova et al., 2010). На основании полученных данных был опубликован «Каталог мировой коллекции ВИР» (Semenova et al., 2020). Из изученного в условиях Краснодарского края набора для определения уровня засухоустойчивости на ранних этапах развития были отобраны 50 образцов различного эколого-географического происхождения одного года репродукции.

Диагностику ранней засухоустойчивости образцов проводили с использованием метода рулонной культуры. В настоящее время метод широко используется для оценки абиотической устойчивости ряда сельскохозяйствен-

ных культур (холодостойкости кукурузы; засухо- и солеустойчивости вики; солеустойчивости ячменя) (Abdullaev et al., 2015; Kosareva et al., 2018a).

Для имитации недостатка водоснабжения проростков гороха использовали раствор сахарозы, дифференцирующую концентрацию которой определяли опытным путем на трех сортах. Для приготовления раствора в 1 литр дистиллированной воды вводили навеску сахарозы: 63,0 г для создания осмотического давления в 0,5 мегапаскалей¹ (МПа), 86,6 г – 0,7 МПа. Раствор нагревали до полного растворения навески, затем его охлаждали до комнатной температуры и добавляли 1 таблетку нистатина. Далее все манипуляции с семенами (проростками) проводили в соответствии с описанным ниже протоколом модифицированного метода оценки засухоустойчивости.

Достоверность различий контроля и опыта по совокупности образцов устанавливали с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок. Рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона между засухоустойчивостью образца и показателями структуры урожая. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

При изучении влияния ранней засухи на рост корешков растений нами использован рулонный способ выращивания растений. Метод позволяет быстро и с небольшими затратами изучить влияние стрессора на рост корешков и побегов растений, обладает воспроизводи-

мостью, большой пропускной способностью, применяется при изучении абиотической устойчивости. Диагностическим критерием метода является индекс длины корня (ИДК) – величина отношения усредненной длины корешков проростков, выращенных на провокационном фоне (засоление, засуха, низкая температура) к контрольным значениям. Этот индекс позволяет учесть степень замедления роста корней растений, подвергнутых стрессорным воздействиям.

Разработка метода оценки ранней засухоустойчивости гороха была связана с определением концентрации раствора сахарозы, дифференцирующей образцы по величине средней длины корешков проростков (табл.).

На диаграмме (рис. 1) и в таблице 1 показано влияние растворов сахарозы с осмотическим давлением 0,5 МПа и 0,7 МПа на индекс длины корешков двух образцов гороха овощного – ‘Рейньер’ (к-9821, Германия), ‘Галоп’ (к-10090, РФ, Краснодарский край) и зернового сорта ‘КМ11ВК22’ (к-10210, Германия). С повышением напряженности стрессового воздействия фона снижается длина корешков проростков, что приводит к снижению индекса длины корешков. При имитации засухи с помощью раствора сахарозы с осмотическим давлением 0,7 МПа наблюдали средний по трем сортам ИДК=0,29, что достоверно ниже, чем ИДК=0,65 при «засухе», вызванной раствором с осмотическим давлением 0,5 МПа (уровень значимости $p=0,014$). Величина индекса зависит и от свойств генотипа: образец к-10210 в меньшей степени реагировал на наличие сахарозы в среде.

Таблица 1. Влияние сахарозы на длину зародышевых корешков сортов гороха

Table 1. Influence of sucrose on the radicle length in pea cultivars

№ каталога ВИР/ VIR catalogue number	Название сорта/ Cultivar	Характеристики корня в разных вариантах опыта/ Radicle features in different experimental trials				
		Контроль ¹ , см/ Control, cm	Засуха ¹ (0,5 МПа), см/ Drought (0.5 MPa), cm	Индекс длины корня / Radicle length index	Засуха ¹ (0,7 МПа), см/ Drought (0.7 MPa), cm	Индекс длины корня/ Radicle length index
к-9821	‘Рейньер’	8,56±0,43	4,59±0,50	0,54	1,32±0,17	0,15
к-10090	‘Галоп’	6,64±0,72	4,36±0,46	0,66	2,08±0,37	0,31
к-10210	‘КМ11ВК22’	7,04±0,55	5,22±0,48	0,74	2,86±0,34	0,41

¹ – Данные представлены в виде: среднее ± ошибка среднего.

От Редактора: внесистемные единицы измерения осмотического давления, выраженные в атмосферах (атм), в тексте заменены на единицы Международной системы единиц СИ, а именно мегапаскали (МПа). На рис.1 величина давления 5 атм соответствует 0,5 МПа, 7 атм соответствует 0,7 МПа. Editorial: Off-system units of osmotic pressure measurement expressed in atmospheres (atm) are replaced in the text by units of the International System of Units (SI), namely megapascals (MPa). In Fig.1 pressure of 5 atm stands for 0.5 MPa and 7 atm for 0.7 MPa.

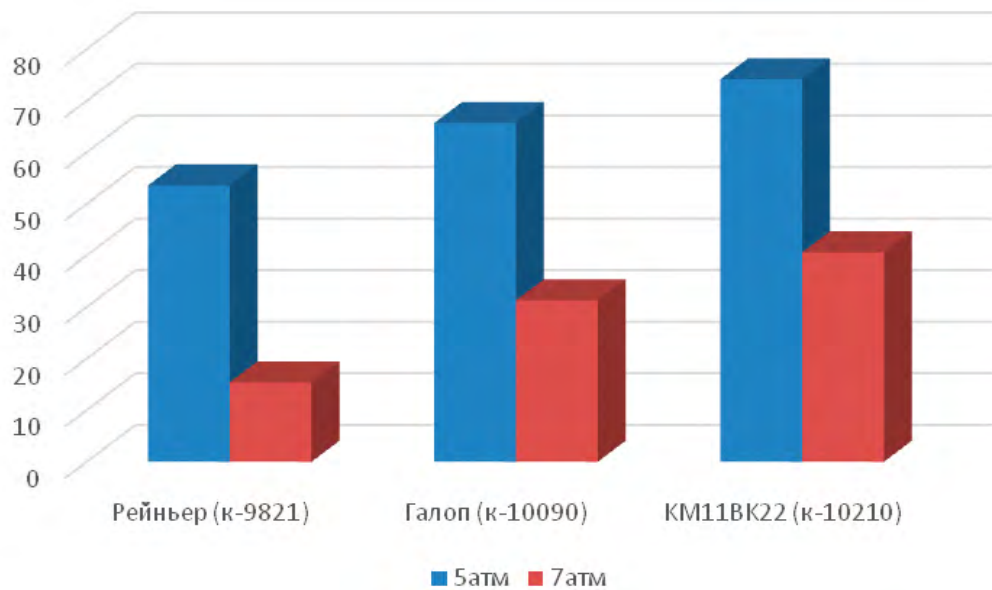
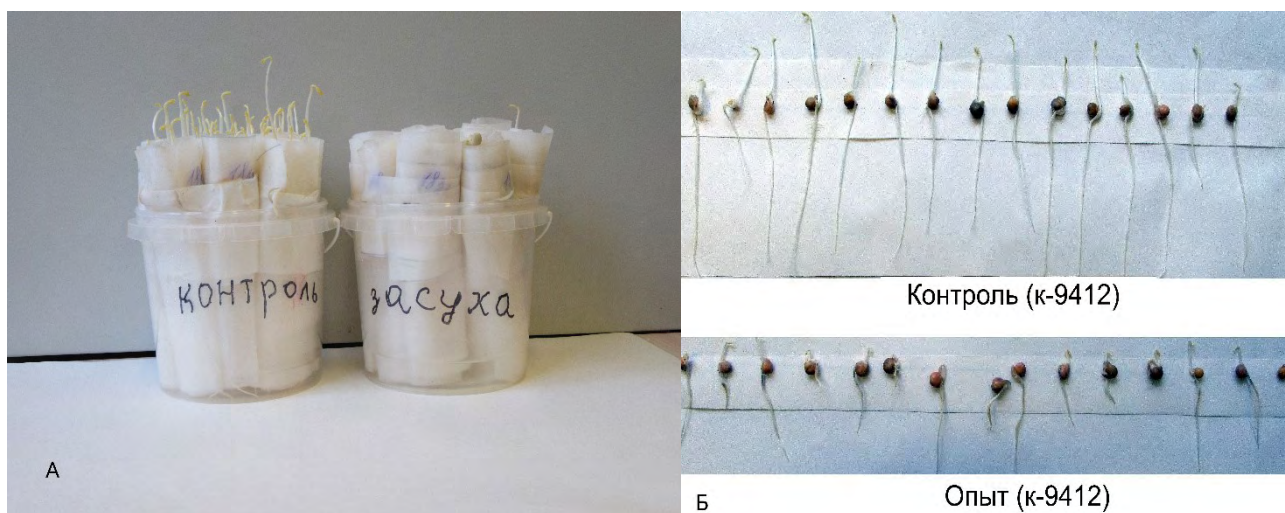


Рис. 1. Влияние различных концентраций сахарозы на ростовые параметры зародышевых корешков образцов гороха.

Fig. 1. Effect of different sucrose concentrations on the radicle growth parameters in pea accessions.



**Рис. 2. Рулонный способ оценки гороха на засухоустойчивость:
 А) Размещение рулонов в емкости с контрольным и стрессовыми вариантами.
 Б). Проростки гороха после прорастания в растворе сахарозы.**

**Fig. 2. Roll-ups for assessing drought tolerance in peas:
 A) Placement of rolls in control and stress containers.
 B) Pea sprouts after germination in sucrose solution.**

Содержание метода. На фильтровальную бумагу размером 15 см × 60 см, предварительно выдержанную при температуре 105°C в течение 1 часа, раскладывали 15 сухих семян изучаемых образцов (желательно одного года и места репродукции) по линии, отступив от верхнего края листа 2 см. Фильтровальную бумагу увлажняли в зависимости от варианта опыта: дистиллированной водой (контроль), раствором сахарозы с осмотическим давлением 0,5 МПа (вариант «засуха»). Сверху семена прикрывали так же увлажненной полоской фильтровальной бумаги (2 см × 60 см). Листы с семенами сворачивали в рулон. На один образец готовили 6 рулонов, по три на каждый вариант опыта. Рулоны переносили в сосуды с водой или растворами сахарозы (300 мл на сосуд), сосуды помещали на 5 суток в термостат с температурой 22°C. Затем рулоны разворачивали и измеряли длину корешка каждого проростка. Усредненную длину корешков проростков, характеризующую их скорость роста в условиях недостатка водоснабжения, относили к значениям для контрольной группы и получали индекс длины корня (ИДК).

Анализ литературы позволил получить представление об имеющихся методических подходах в области диагностики ранней засухоустойчивости гороха. По данным Г.В. Соболевой и В.Н. Уварова (Soboleva, Uvarov, 2015), Г.В. Соболевой и Р.В. Беляевой (Soboleva, Belyaeva, 2020), для оценки засухоустойчивости сортов гороха рекомендовано исследование всхожести семян при проращивании в чашках Петри в растворе сахарозы с осмотическим давлением 16 атм ($\approx 1,6$ МПа).

Наши исследования показали, что концентрация сахарозы 16 атм (176 г на 1 л воды), рекомендованная предыдущими авторами (Soboleva, Uvarov, 2015), при использовании рулонной культуры была слишком высокой

и губительно действовала на проростки гороха. Мы имели целью разработку модифицированного метода оценки засухоустойчивости гороха при выращивании семян в условиях рулона. Состав осмотически активной среды в нашем случае практически не изменялся. Проростки находились на существенном расстоянии друг от друга, влияние на них корневых выделений соседних проростков было минимальным.

Из результатов, представленных в таблице 1 и на рисунке 1, следует, что стрессовые фоны, обусловленные внесением сахарозы, существенно тормозили ростовые процессы в зародышевых корешках гороха: спустя 5 суток неблагоприятного воздействия это выразилось в уменьшении их длины. Особенно заметно уменьшалась длина корешков при осмотическом давлении раствора сахарозы, равном 0,7 МПа. Учитывая характеристики трех изученных на первом этапе сортов, для проведения скрининга образцов гороха нами был выбран раствор сахарозы с осмотическим давлением 0,5 МПа.

Массовый поточный скрининг образцов гороха показал, что средняя длина корешков в контрольных условиях в значительной степени зависит от сорта и составляла в конце эксперимента от 3,18 до 8,83 см (табл. 2). Неблагоприятное воздействие на прорастающие семена стрессового фона (раствора сахарозы с осмотическим давлением 0,5 МПа) тормозило рост корней, в среднем длина корней уменьшилась на 3,2 мм ($p=0,000$).

Значение ИДК у разных образцов значительно варьировало (от 0,28 до 0,88) (см. табл. 2). С учетом дифференциации ИДК образцов, было определено число групп устойчивости и величина интервалов значений ИДК. К высокоустойчивым отнесены образцы с ИДК $>0,8$, к устойчивым с ИДК от 0,6 до 0,79, к среднеустойчивым с ИДК от 0,40 до 0,59 и слабоустойчивым с ИДК $<0,40$.

Таблица 2. Распределение образцов овощного гороха по группам устойчивости к осмотическому стрессу

Table 2. Distribution of garden pea accessions between groups of resistance to osmotic stress

№ каталога VIP/VIR catalog number	Название образца / Accession name	Происхождение образца / Accession origin	Длина ¹ корня в контроле, см / Radicle length in control, cm	Доверительный интервал -95,00% / +95,00% / 95% confidence interval	Длина ¹ корня в опыте, см / Radicle length in experiment, cm	Доверительный интервал -95,00% / +95,00% / 95% confidence interval	ИДК Индекс длины корня RLI Radicle length index
Высокоустойчивые (ИДК >0,8)							
к-9333	б/н	Марокко	7,06±0,78	5,45–8,66	6,21±0,61	4,94–7,47	0,88
Устойчивые (ИДК 0,60 – 0,80)							
к-9938	WR-1167	США	6,57±0,67	5,19–7,95	4,62±0,48	3,64–5,60	0,7
к-10116	M 250-8-1	Австралия	6,61±0,84	4,88–8,33	4,53±0,53	3,45–5,61	0,69
к-1495	‘Карлик 31’	РФ, Курская обл.	8,83±0,66	7,46–10,19	5,76±0,75	4,22–7,31	0,65
к-9934	‘Mini’	Германия	6,66±0,62	5,39–7,93	4,23±0,53	3,15–5,31	0,64
к-9372	‘Екатерининский овощной’	РФ, Тамбовская обл.	5,08±0,58	3,87–6,28	3,19±0,49	2,18–4,19	0,63
к-9418	P 21 MS	Сирия	6,45±0,59	5,24–7,66	4,06±0,46	3,11–5,00	0,63
к-9401	‘Зеленый цукат’	Украина	8,44±0,55	7,32–9,57	5,14±0,51	4,10–6,18	0,61
к-9909	47-16	США	7,42±0,64	6,09–8,74	4,49±0,55	3,36–5,61	0,61
к-10072	‘Fit’	Франция	8,21±0,68	6,83–9,60	5,04±0,57	3,85–6,24	0,61
к-9733	‘Радован’	США	6,50±0,62	5,24–7,77	3,91±0,41	3,06–4,75	0,6
Среднеустойчивые (ИДК 0,40 – 0,59)							
к-9350	‘Папус’	РФ, Краснодарский край	7,78±0,74	6,24–9,32	4,56±0,65	3,20–5,93	0,59
к-9790	‘Ralitza’	Франция	7,05±0,58	5,87–8,24	4,13±0,40	3,30–4,97	0,59
к-9667	‘Kelma’	Италия	3,18±0,45	2,25–4,11	1,85±0,21	1,42–2,28	0,58
к-10194	‘Группон’	Нидерланды	5,71±0,66	4,37–7,06	3,23±0,54	2,11–4,34	0,57
к-9812	‘Хезбана’	Нидерланды	6,85±0,58	5,66–8,05	3,80±0,46	2,83–4,76	0,55
к-10169	‘Coral’	Венгрия	3,23±0,46	2,26–4,20	1,73±0,15	1,41–2,05	0,54
к-9319	б/н	Ливан	4,31±0,52	3,24–5,37	2,33±0,26	1,80–2,86	0,54
к-10063	‘Arctic sweet’	Канада	5,68±0,55	4,55–6,80	3,02±0,27	2,46–3,58	0,53
к-9651	‘Малыш’	Беларусь	7,68±0,76	6,11–9,25	4,06±0,49	3,05–5,07	0,53
к-3026	‘Champion of England’	Великобритания	6,16±0,50	5,14–7,18	3,19±0,34	2,48–3,89	0,52
к-9323	б/н	Швейцария	8,27±0,69	6,86–9,68	4,28±0,54	3,16–5,39	0,52
к-9400	‘Добрыня’	Украина	6,46±0,85	4,70–8,22	3,30±0,54	2,19–4,41	0,51
к-9970	‘Averno’	Германия	4,35±0,46	3,40–5,30	2,24±0,25	1,72–2,77	0,51
к-9455	‘Горынец’	Беларусь	5,24±0,62	3,96–6,52	2,62±0,39	1,80–3,43	0,5
к-9516	Wis 9407	США	4,43±0,60	3,19–5,68	2,22±0,28	1,63–2,82	0,50
к-9664	‘Грибовский юбилейный’	РФ, Московская обл.	3,97±0,61	2,70–5,25	1,98±0,18	1,60–2,36	0,50
к-9655	‘Veloborso’	Венгрия	3,72±0,65	2,34–5,10	1,81±0,37	1,02–2,59	0,49
к-10118	‘Sprite af, st, tl’	США	6,56±0,59	5,34–7,78	3,21±0,40	2,40–4,03	0,49
к-1711	б/н	РФ, Тамбовская обл.	8,03±0,41	7,19–8,87	3,92±0,46	2,97–4,86	0,49
к-9559	36-11	США	5,73±0,67	4,34–7,11	2,66±0,41	1,82–3,50	0,46
к-9324	б/н	Швейцария	7,11±0,64	5,80–8,43	3,25±0,39	2,46–4,04	0,46
к-9523	E-024	Эквадор	8,73±0,66	7,37–10,09	3,93±0,54	2,81–5,05	0,45
к-9815	‘Муцио’	Нидерланды	7,04±0,66	5,68–8,40	3,13±0,44	2,22–4,05	0,44
к-9448	‘Альфа 2’	РФ, Краснодарский край	4,87±0,81	3,14–6,60	2,14±0,40	1,28–3,00	0,44
к-9669	A 45 af	США	7,92±0,59	6,71–9,13	3,40±0,40	2,57–4,22	0,43
к-9953	‘Fenomen’	Франция	6,56±0,54	5,46–7,67	2,85±0,48	1,85–3,85	0,43
к-9330	‘Dafron’	Канада	7,80±0,58	6,61–8,99	3,28±0,48	2,30–4,25	0,42
к-9659	P40M	Сирия	7,10±0,54	5,99–8,21	3,00±0,30	2,38–3,63	0,42
к-9820	‘Бинго’	Нидерланды	5,68±0,72	4,19–7,16	2,26±0,33	1,56–2,96	0,4
Слабо устойчивые (ИДК < 0,40)							
к-9681	Кировский	РФ, Вологодская обл.	7,62±0,65	6,29–8,95	3,00±0,35	2,29–3,71	0,39
к-9470	‘Каскад’	Украина	6,14±0,67	4,75–7,53	2,41±0,31	1,76–3,06	0,39
к-9353	‘Исток’	РФ, Краснодарский край	8,56±0,56	7,40–9,71	3,24±0,43	2,36–4,13	0,38
к-9974	Wis 8903	США	4,92±0,59	3,71–6,13	1,88±0,24	1,39–2,37	0,38
к-9670	NLEP tl	США	5,35±0,66	3,99–6,71	1,97±0,22	1,51–2,43	0,37
к-9592	‘Чика’	РФ, Московская обл.	6,27±0,64	4,97–7,58	2,21±0,27	1,66–2,76	0,35
к-9946	‘Амбассадор’	Германия	7,26±0,53	6,16–8,36	2,35±0,27	1,80–2,91	0,32
к-9947	‘Бутана’	Нидерланды	8,42±0,55	7,28–9,56	2,63±0,29	2,03–3,24	0,31
к-9792	б/н	Китай	5,21±0,58	3,98–6,43	1,60±0,19	1,20–1,99	0,31
к-9731	‘Далила’	США	7,13±0,56	5,98–8,27	1,98±0,19	1,59–2,38	0,28

¹ – данные представлены в виде среднее ± ошибка среднего

Проанализированные образцы были распределены по группам устойчивости к стрессору. Согласно проведенному ранжированию, был выделен один высоко устойчивый и 10 устойчивых к осмотическому стрессу образцов (табл. 3).

Таблица 3. Структурный анализ образцов, выделенных по устойчивости к осмотическому стрессу на ранних этапах развития (по E.V. Semenova, 2020)

Table 3. Structural analysis of accessions distinguished by resistance to osmotic stress at early stages of development (from E.V. Semenova, 2020)

№ каталога ВИР/ VIR catalog number	Вегетационный период, суток/ Growing season, days	Средняя длина стебля, см, Average stem length, cm	Тип листа/ Leaf type	Максимальное число семян в бобе, шт./ Maximum seed number per bean, pcs.	Число бобов на растении, шт./ Number of pods per plant, pcs.	Масса семян на 1 растении, г/ Seed weight per plant, g	Масса 1000 семян, г/ 1000 seed weight, g
Высокоустойчивые							
к-9333	80	161,8	обычный	6	22,2	8,9	134
Устойчивые							
к-9372	77	72,8	обычный	10	8,0	6,8	150
к-9401	73	79,7	обычный	6	12,6	7,7	183
к-9418	78	74,7	обычный	8	7,3	4,8	190
к-9733	80	67,5	усатый	8	8,3	4,8	127
к-9909	69	155,0	обычный	6	14,2	15,2	158
к-9934	72	70,8	обычный	8	17,8	7,0	95
к-9938	77	75,7	обычный	8	12,3	15,4	161
к-10072	69	67,3	обычный	8	19,1	9,2	93
к-10116	77	72,5	усатый	6	8,8	7,0	193

Из таблицы 3 видно, что в группу устойчивых и высокоустойчивых образцов попали как раннеспелые, так и позднеспелые образцы, с усатым или листочковым типами листа, мелкосемянные и крупносемянные, высокорослые и низкорослые. Структурный анализ изученных сортов гороха позволил рассчитать коэффициенты корреляции между засухоустойчивостью на ранних этапах развития проростков (ИДК) и некоторыми показателями взрослых растений. Он указал на отсутствие достоверной связи между ИДК и показателями структуры урожая (коэффициенты корреляции от $r = +0,17$ до $r = -0,24$). Вероятно, отсутствие коррелятивной связи указывает на независимость параметра ранней засухоустойчивости (ИДК) от ростовых и продукционных характеристик гороха. Кроме того, ИДК характеризует устойчивость растений к засухе именно на ранних стадиях их развития.

Заключение

Происходящее в настоящее время изменение климата ведет к увеличению частоты и продолжительности засух. Выявление образцов, носителей ценных генов засухоустойчивости, важно при подборе исходного материала для создания сортов, обладающих устойчивостью к недостатку водоснабжения.

С использованием метода рулонной культуры разрабо-

тана модификация экспресс-метода лабораторной диагностики засухоустойчивости гороха.

Этим методом проведена сравнительная оценка 50 образцов гороха овощного направления использования. Выделен один высоко устойчивый образец (к-9333 из Марокко) и 10 устойчивых (к-1495, к-9372, к-9401, к-9418, к-9733, к-9909, к-9934, к-9938, к-10072, к-10116.), которые могут быть использованы в качестве исходного материала в селекции гороха на засухоустойчивость. Наименьшей засухоустойчивостью обладали образцы к-9731 'Далила' из США (ИДК=0,28), к-9792 из Китая (ИДК=0,31) и сорт 'Бутана' (к-9947) из Нидерландов (ИДК=0,31).

Литература/References

- Abdullaev R.A., Kosareva I.A., Radchenko E.E. Laboratory screening of barley samples from Dagestan for resistance to chloride salinization. *Research and Technical Advances of Agribusiness Sector*. 2015;29(7):24-26. [in Russian] (Абдуллаев Р.А., Косарева И.А., Радченко Е.Е. Лабораторный скрининг образцов ячменя из Дагестана по устойчивости к хлоридному засолению. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(7):24-26).
- Filatova I.A., Brailova I.S. Estimation of promising selected samples and pea collection for relative drought tolerance. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*. 2018;3:61-66. [in Russian] (Филатова И.А., Браилова И.С. Оценка перспективных селекционных образцов и коллекции гороха на относительную засухоустойчивость. *Вестник Мичуринского ГАУ*. 2018;3:61-66).

- Hari V., Rakovec O., Markonis Ya., Hanel M., Kumar R. Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 central european drought under global warming. *Scientific Reports*. 2020;10:12207. Doi: 10.1038/s41598-020-68872-9
- Kosareva I.A. The study of crops and wild relatives collections for signs of resistance to toxic elements of acid soils. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2012;170(1):35-45. [in Russian] (Косарева И.А. Изучение коллекций сельскохозяйственных культур и диких родичей по признакам устойчивости к токсическим элементам кислых почв. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2012;170(1):35-45).
- Kosareva I.A., Aleksandrova T.G., Malyshev L.L., Kravchuk N.D. Catalogue of the VIR global collection. Issue 869. Vetch: description of accessions according to the traits of their resistance to chloride salinization and drought. St. Petersburg: VIR; 2018a. [in Russian] (Косарева И.А., Александрова Т.Г., Малышев Л.Л., Кравчук Н.Д. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 869. Вика: характеристика образцов по признакам устойчивости к хлоридному засолению и засухе. Санкт-Петербург: ВИР; 2018a). DOI: 10.30901/978-5-905954-78-8
- Kosareva I.A., Semenova E.V., Malyshev L.L. Catalogue of the VIR global collection. Issue 860. Pea: characterization of accessions according to their resistance to aluminum toxicity of acidic soils. St. Petersburg: VIR; 2018b. [in Russian] (Косарева И.А., Семенова Е.В., Малышев Л.Л. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 860. Горох: Характеристика образцов по устойчивости к алюмотоксичности кислых почв. Санкт-Петербург: ВИР; 2018b).
- Kozhushko N.N. Study of drought resistance of the world gene pool of spring wheat for breeding purposes: methodological guidance. Leningrad: VIR; 1991. [in Russian] (Кожушко Н.Н. Изучение засухоустойчивости мирового генофонда яровой пшеницы для селекционных целей: методическое руководство. Ленинград: ВИР; 1991).
- Lysenko A.A., Korobova N.A. Evaluation of collection samples pea productivity elements. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019;7(1):107-112. [in Russian] (Лысенко А.А., Коробова Н.А. Оценка коллекционных образцов гороха по элементам продуктивности. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019;7(1):107-112). DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11381
- Makasheva R.Kh. Flora of cultivated plants. Vol. 4, Pt. 1. Grain legumes. Pea. Leningrad; 1979. [in Russian] (Макашева Р.Х. Культурная флора СССР. Т. 4, ч. 1. Зерновые бобовые культуры. Горох. Ленинград; 1979).
- Novikova N.E. Water-retention capacity of pea plants of various morphotypes in connection with the resistance of varieties to drought. *Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of leguminous and cereal crops*. 2005;43:97-102. [in Russian] (Новикова Н.Е. Водоудерживающая способность растений гороха различных морфотипов в связи с устойчивостью сортов к засухе. *Научно-технический бюллетень ВНИИ зернобобовых и крупяных культур*. 2005;43:97-102).
- Polevoy V.V., Chirkova T.V., Lutova L.A., Salamatova T.S., Barashkova E.A., Kozhushko N.N., Sinelnikova V.N., Kosareva I.A. Workshop on plant growth and resistance. V.V. Polevoy, T.V. Chirkova (Eds.). St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University; 2001 [in Russian] (Полевой В.В., Чиркова Т.В., Лутова Л.А., Саламатова Т.С., Барашкова Э.А., Кожушко Н.Н., Синельникова В.Н., Косарева И.А. Практикум по росту и устойчивости растений / под ред. В.В. Полевого, Т.В. Чирковой. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета; 2001).
- Popov B.K. On the relative drought resistance of the grain pea varieties. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011;1:26-27. [in Russian] (Попов Б.К. Об относительной засухоустойчивости сортов зернового гороха. *Достижения науки и техники АПК*. 2011;1:26-27).
- Puhalsky Ya.V., Vishniyakova M.A., Loskutov S.I., Semenova E.V., Sekste E.A., Shaposhnikov A.I., Safronova V.I., Belimov A.A., Tikhonovich I.A. Pea (*Pisum sativum* L.) cultivars with low accumulation of heavy metals from contaminated soil. *Agricultural Biology*. 2017;52(3):597-606. [in Russian] (Пухальский Я.В., Вишнякова М.А., Лоскутов С.И., Семенова Е.В., Сексте Э.А., Шапошников А.И., Сафронова В.И., Белимов А.А., Тихонович И.А. Сорта гороха посевного (*Pisum sativum* L.) с низкой аккумуляцией тяжелых металлов из загрязненной почвы. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):597-606). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.597.rus
- Semenova E.V., Sholukhova T.A., Voiko A.P. Catalogue of the VIR global collection. Issue 910. Pea: agrobiological description of cultivars for diverse uses in the environments of Krasnodar Territory. St. Petersburg: VIR; 2020. [in Russian] (Семенова Е.В., Шолухова Т.А., Войко А.П. Каталог мировой коллекции ВИР. Вып. 910. Горох: агробиологическая характеристика сортов разных направлений использования в условиях Краснодарского края. Санкт-Петербург: ВИР; 2020). DOI: 10.30901/978-5-907145-16-0
- Soboleva G.V., Belyaeva R.V. Evaluation of pea samples from the collection of the VIR named after N.I. Vavilov on relative drought resistance. *Legumes and great crops*. 2020;3(35):26-31. [in Russian] (Соболева Г.В., Беляева Р.В. Оценка образцов гороха из коллекции ВИР имени Н.И. Вавилова на относительную засухоустойчивость. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020;3(35):26-31). DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11181
- Soboleva G.V., Uvarov V.N. Use of physiological methods in peas selection on drought resistance. *Zemledelie*. 2015;4:37-39. [in Russian] (Соболева Г.В., Уваров В.Н. Использование физиологических методов в селекции гороха на засухоустойчивость. *Земледелие*. 2015;4:37-39).
- Soboleva G.V., Zelenov A.A., Sobolev A.N. Comparative evaluation of resistance to osmotic stress of perspective pea breeding lines with altered architectonics of the leaf apparatus. *Legumes and great crops*. 2018;3(27):35-40. [in Russian] (Соболева Г.В., Зеленев А.А., Соболев А.Н. Сравнительная оценка устойчивости к осмотическому стрессу перспективных селекционных линий гороха с измененной архитектоники листового аппарата. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018;3(27):35-40). DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11029
- Soboleva G.V., Zelenov A.A., Sobolev A.N. Evaluation of hybrid pea populations for osmotolerance and creation of promising lines for breeding for drought tolerance based on them. *Legumes and great crops*. 2020;4(36):18-23. [in Russian] (Соболева Г.В., Зеленев А.А., Соболев А.Н. Оценка гибридных популяций гороха по осмоустойчивости и создание на их основе линий перспективных в селекции на засухоустойчивость. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020;4(36):18-23). DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11199
- Takahashi F., Kuromori T., Urano K., Yamaguchi-Shinozaki K., Shinozaki K. Drought stress responses and resistance in plant: from cellular responses to long-distance intercellular communication. *Frontiers in plant science*. 2020;11:1-14. DOI: 10.3389/fpls.2020.556972
- Udovenko G.V. (ed). Diagnostics of plant resistance to stress: (methodological guide). Leningrad: VIR; 1988 [in Russian] (Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: (методическое руководство) / под ред. Г.В. Удовенко. Ленинград: ВИР; 1988).
- Vishnyakova M.A., Aleksandrova T.G., Buravtseva T.V., Burlayeva M.O., Egorova G.P., Semenova E.V., Seferova I.V., Suvorova G.N. Species diversity of the VIR collection of grain legume genetic resources and its use in domestic breeding. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(2):109-123. [in Russian] (Вишнякова М.А., Александрова Т.Г., Буравцева Т.В., Бурляева М.О., Егорова Г. П., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Суворова Г.Н. Видовое разнообразие коллекции генетических ресурсов зернобобовых вир и его использование в отечественной селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(2):109-123). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-109-123
- Vishnyakova M.A., Buravtseva T.V., Bulyntsev S.V., Burlayeva M.O., Semenova E.V., Seferova I.V., Alexandrova T.G., Yankov I.I., Egorova G.P., Gerasimova T.V., Drugova E.V. VIR global collection of grain legume crop genetic resources: replenishment, conservation and studying: methodological guidelines. St. Petersburg; 2010. [in Russian] (Вишнякова М.А., Буравцева Т.В.,

-
- Булынец С.В., Бурляева М.О., Семенова Е.В., Сеферова И.В., Александрова Т.Г., Яньков И.И., Егорова Г.П., Герасимова Т.В., Другова Е.В. Коллекция мировых генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: методические указания. Санкт-Петербург; 2010).
- Vishnyakova M.A., Semenova E.V., Kosareva I.A., Kravchuk N.D., Loskutov S.I., Pukhalskii I.V., Shaposhnikov A.I., Sazanova A.L., Belimov A.A. Method for rapid assessment of aluminum tolerance of pea (*Pisum sativum* L.). *Agricultural Biology*. 2015;50(3):353-360. [in Russian] (Вишнякова М.А., Косарева И.А., Семенова Е.В., Кравчук Н.Д., Лоскутов С.И., Пухальский Я.В., Шапошников А.И., Сазанова А.Л., Белимов А.А. Метод экспресс-оценки алюмотолерантности у гороха посевного (*Pisum sativum* L.) *Сельскохозяйственная биология*. 2015;50(3):353-360). doi: 10.15389/agrobiology.2015.3/353rus