

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ ГОРОХА

Г.В. СОБОЛЕВА, кандидат сельскохозяйственных наук, E-mail: alniksobolev@rambler.ru

А.М. ЗАДОРИН, кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID ID: 0000-0003-1498-0882,

E-mail: alex.zadorin@yandex.ru

А.Н. СОБОЛЕВ*, кандидат биологических наук

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

*ФГБОУ ВО ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИМЕНИ И.С. ТУРГЕНЕВА

Аннотация. В статье представлены результаты оценки относительной засухоустойчивости перспективных селекционных линий гороха гетерофилльного морфотипа хамелеон. Материалом для проведения исследований служили 7 перспективных линий гороха морфотипа хамелеон селекции ФНЦ ЗБК: Яг-10-384, Яг-12-37, Яг-16-41, Яг-16-96, Яг-16-107, Яг-16-721, Яг-16-721/1. Сорта стандарты: Ягуар (гетерофилльная форма хамелеон), Гамбит (усатый морфотип), Темп (обычный листочковый морфотип). Оценка устойчивости на ранних этапах онтогенеза осуществляли методом проращивания семян в селективных системах, содержащих в качестве стресс-фактора сахарозу (10 атм.). Контроль - вода. Диагностическим критерием устойчивости являлся индекс длины зародышевого корешка (ИДК) – отношение длины первичных корешков в условиях дефицита воды к контролю. Для анализа устойчивости к обезвоживанию целых растений использовали такой показатель, как водоудерживающая способность, определяемая методом завядания. Выявлены генотипические различия среди образцов гороха усатого, листочкового и гетерофилльного морфотипов по показателям, характеризующим относительную засухоустойчивость. Полученные данные позволили дифференцировать генотипы по группам устойчивости. В целом по проанализированным показателям (индекс длины корня и водоудерживающая способность растений в процессе завядания) среди изученного материала наибольшую относительную засухоустойчивость продемонстрировали селекционные линии Яг-16-41, Яг-16-96 и сорт Ягуар.

Ключевые слова: горох, морфотип, осмоустойчивость, засухоустойчивость.

Для цитирования: Соболева Г.В., Задорин А.М., Соболев А.Н. Относительная засухоустойчивость перспективных селекционных линий гороха. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2024; 4(52):13-19. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-13-19

RELATIVE DROUGHT TOLERANCE OF PROMISING PEA BREEDING LINES

G.V. Soboleva, A.M. Zadorin, A.N. Sobolev*

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS

*FSBEI HE «I.S. TURGENEV OREL STATE UNIVERSITY»

Abstract: The article presents the results of evaluation of relative drought tolerance of promising breeding lines of pea heterophyllous morphotype chameleon. Seven promising lines of pea morphotype chameleon breeding of FSC LGC served as material for research: Yag-10-384, Yag-12-37, Yag-16-41, Yag-16-96, Yag-16-107, Yag-16-721, Yag-16-721/1. Variety standards: Jaguar (heterophyllous chameleon form), Gambit (tendrill morphotype), Tempe (common leaf morphotype). Evaluation of resistance at early stages of ontogenesis was carried out by germination of seeds in

selective systems containing sucrose (10 atm.) as a stress factor. Control - water. The diagnostic criterion of stability was the germinal root length index (GRI) - the ratio of primary roots length under water deficit conditions to the control. To analyze the dehydration tolerance of whole plants, an indicator such as water-holding capacity determined by the wilting method was used. Genotypic differences among pea samples of tendril, leafy and heterophyll morphotypes were revealed for indicators characterising relative drought tolerance. The data obtained allowed differentiating genotypes into resistance groups. In general, the breeding lines Yag-16-41, Yag-16-96 and the variety Jaguar showed the highest relative drought tolerance among the material analysed (root length index and water-holding capacity of plants during wilting).

Keywords: pea, morphotype, osmotolerance, drought tolerance.

Возрастающий уровень интенсификации сельскохозяйственного производства вызывает необходимость создания новых высокопродуктивных, технологичных и устойчивых к биотическим и абиотическим факторам среды сортов. Такие требования в равной степени предъявляются и к ведущей зернобобовой культуре – гороху. Благодаря классической селекции, основанной на применении половой гибридизации и отбора, достигнуты значительные генетические и морфологические преобразования растений гороха. В результате создан целый спектр сортов гороха с измененной архитектоникой: короткостебельных, детерминантных, с усатым типом листа, позволивший решить проблему технологичности культуры и обладающих высокой потенциальной урожайностью [1]. Однако, несмотря на достигнутые успехи, возник целый ряд новых проблем. У современных сортов гороха интенсивного типа адаптивные свойства растений к стрессовым факторам среды имеют тенденцию к ухудшению. В связи с глобальными и локальными изменениями климата в сторону резкого потепления особую актуальность приобретают вопросы устойчивости новых сортов к засухе [2-4]. Таким образом, практическая селекция гороха должна совместить в сорте взаимоисключающие признаки: высокую биологическую продуктивность, технологичность и устойчивость к стрессовым факторам, в частности к засухе. Согласно классификации Н.И. Вавилова [5] горох относится к слабоустойчивым к засухе культурам. При этом засухоустойчивость крайне сложное понятие, обусловленное различными типами засух, их продолжительностью, биологическими особенностями возделываемых культур. Также следует отметить, что адаптивность к засухе сложная система структур и функций самих растений.

Для дальнейшего прогресса в селекции гороха как на высокую урожайность, так и на стрессоустойчивость предлагается повысить биоэнергетический потенциал растения. Перспективным исходным материалом для этого направления селекции являются формы гороха с измененной архитектоникой листового аппарата – рассеченнолисточковые, многократно непарноперистые, с ярусной гетерофиллией, обладающие высоким фотосинтетическим потенциалом. Особое внимание селекционеров акцентировано на оригинальной гетерофилльной форме хамелеон [6, 7]. Вовлечение данного морфотипа в селекционный процесс должно включать и оценку устойчивости к засухе. Для оценки устойчивости образцов к засухе предложено достаточно большое количество методов, основанных на физиологических механизмах адаптации к засухе. Достаточно информативным и наиболее часто используемым для ранней диагностики засухоустойчивости является метод проращивания семян на растворах осмотиков [8, 9]. Метод основан на способности засухоустойчивых сортов развивать более высокую сосущую силу в условиях физиологической засухи и формировать мощную корневую систему. Для анализа устойчивости целых растений, как правило, используется метод завядания, позволяющий определять водоудерживающую способность тканей.

Цель исследований – сравнительная оценка относительной засухоустойчивости перспективных линий гороха.

Материал и методы исследований

Материалом для проведения исследований служили 7 перспективных линий гороха морфотипа хамелеон селекции ФНЦ ЗБК: Яг-10-384, Яг-12-37, Яг-16-41, Яг-16-96, Яг-16-107, Яг-16-721, Яг-16-721/1. У этой формы два-три нижних развитых листа обычно имеют два-три листочка и неветвящийся усик. На следующих четырех-пяти узлах лист представлен многократно разветвленными усиками с расположенными на них листочками неправильной формы (усато-листочковые листья). Выше по стеблю на трех-четырех узлах формируются листья с многократно ветвящимися усиками без листочков (усатые листья). В зоне плодоношения располагаются усато-листочковые листья (рис. 1).



Рис. 1. Растение гетерофилльной формы гороха – хамелеон (линия Яг-16-721)

Сорта стандарты: Ягуар (гетерофилльная форма хамелеон), Гамбит (усатый морфотип), Темп (обычный листочковый морфотип). Оценку устойчивости на ранних этапах онтогенеза осуществляли методом проращивания семян в селективных системах, содержащих в качестве стресс-фактора сахарозу (10 атм.). Контроль – вода. Диагностическим критерием устойчивости являлся индекс длины зародышевого корешка (ИДК) – отношение длины первичных корешков в условиях дефицита воды к контролю. Семена урожая 2022 года. Анализ проводили на 7 сутки. Оценку устойчивости и дифференциацию генотипов по относительной засухоустойчивости проводили по методике ВИР (1988).

Для анализа показателей водного режима целых растений данные генотипы высевали в полевом опыте в ручном посеве. Площадь питания растений – 100 см². Водоудерживающую способность растений определяли в фазу бутонизация – начало цветения методом завядания срезанных растений в 12-кратной повторности по Н.Н. Третьякову (1990). Основные количественные показатели подвергали вариационно-статистической обработке по Б.А. Доспехову (1985).

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных показал, что в условиях смоделированной физиологической засухи наблюдается существенное угнетение роста первичных корешков гороха. Так, в контрольном варианте длина корешков проростков гороха изменялась от 2,43 см (Яг-16-41) до 4,70 см (Яг-16-107). В условиях осмотической нагрузки длина корешков снижалась более чем в два раза и варьировала от 1,05 см (Яг-16-721) до 1,97 см (Яг-10-384) (табл. 1).

Установлено, что осмотический раствор, содержащий 10 атм. сахарозы позволяет достаточно четко ранжировать образцы гороха по относительной засухоустойчивости на ранних этапах онтогенеза (рис. 2). Значение индекса длины корня у изученных образцов

изменялось в пределах от 0,30 до 0,61. При этом по данному показателю образцы гороха морфотипа хамелеон не только не уступали сорту Гамбит (ИДК=0,34), с усатым типом листа, но и в целом превзошли его. В сравнении с листочковым сортом Темп (ИДК=0,55) и гетерофилльным сортом Ягуар (ИДК=0,58) селекционные линии испытывали большее стрессовое воздействие на рост первичных корешков, что выразилось в более низких показателях ИДК.

Таблица 1

Влияние осмотического стресса на показатели роста первичных корешков у проростков гороха морфотипа хамелеон

№ п/п.	Генотип	Длина зародышевых корешков, см.		Индекс длины корня
		Сахароза, 10 атм.	Контроль	
1	Яг-10-384	1,97±0,15	4,08±0,27	0,48
2	Яг-12-37	1,17±0,11	3,37±0,31	0,35
3	Яг-16-41	1,38±0,10	2,43±0,19	0,57
4	Яг-16-96	1,50±0,08	2,45±0,23	0,61
5	Яг-16-107	1,52±0,07	4,70±0,26	0,32
6	Яг-16-721	1,05±0,07	3,46±0,31	0,30
7	Яг-16-721/1	1,42±0,07	3,49±0,22	0,41
8	Гамбит-St	1,25±0,10	3,68±0,27	0,34
9	Ягуар-St	1,42±0,10	2,45±0,18	0,58
10	Темп-St	1,78±0,09	3,24±0,21	0,55

Наибольшую способность противостоять недостатку влаги при прорастании семян продемонстрировали образцы Яг-16-96 (ИДК=0,61) и Яг-16-41 (ИДК=0,57).



Рис. 2. Анализ роста зародышевых корешков гороха, линия Яг-16-96 на растворе сахарозы (А – контроль, Б – раствор сахарозы 10 атм.)

Использование метода проращивания семян в растворе осмотиков дает представление о сосущей силе семян, которая позволяет у более засухоустойчивых сортов преодолевать осмотическое давление раствора и формировать более развитую корневую систему. Однако этого недостаточно для объективной оценки засухоустойчивости генотипов гороха. Значимым показателем, свидетельствующим о способности растений противостоять водному дефициту,

может служить водоудерживающая способность. В данном случае устойчивость к обезвоживанию определяется по величине водоотдачи растениями за определенный промежуток времени.

Результаты показали также наличие межсортовых и межлинейных различий по водоудерживающей способности растений (табл. 2)

Таблица 2

Потери воды растениями гороха морфотипа хамелеон при завядании (фаза бутонизация-начало цветения), среднее за 2023-2024 гг.

№ п/п	Генотип	Потери воды, %		
		1 час	2 часа	6 часов
1	Яг-10-384	9,01	12,94	23,28
2	Яг-12-37	8,80	13,02	23,33
3	Яг-16-41	7,04	10,51	21,11
4	Яг-16-96	6,94	10,82	21,00
5	Яг-16-107	6,50	10,64	22,21
6	Яг-16-721	6,84	10,79	23,07
7	Яг-16-721/1	7,58	11,74	23,07
8	Гамбит-St	8,47	12,37	22,93
9	Ягуар-St	8,33	11,90	21,31
10	Темп-St	9,88	14,08	22,32

Следует отметить, что достаточно четкая дифференциация генотипов по устойчивости к обезвоживанию наблюдается уже с первого часа завядания и, как правило, значительно не изменяется в дальнейшем. Тем не менее, наиболее информативным показателем является водоудерживающая способность растений через шесть часов завядания.

Сравнительный анализ сортов-стандартов показал, что в среднем за два года исследований большей водоудерживающей способностью характеризовался гетерофилльный сорт Ягуар, потери воды у которого в процессе завядания (6 часов) составили 21,31%. У сортов Гамбит (усатый морфотип) и Темп (листочковый морфотип) потери воды составили 22,32% и 22,93% соответственно. У селекционных линий этот показатель варьировал от 21,00% (Яг-16-96) до 23,33% (Яг-12-37). Максимальные потери воды от ее первоначальной массы отмечены у линий Яг-10-384 (23,28%) и Яг-12-37 (23,37%). Среди всего изученного материала большей водоудерживающей способностью характеризовались селекционные линии Яг-16-96 и Яг-16-41. Растения данных линий в процессе обезвоживания потеряли 21,00% и 21,11% воды от их первоначальной массы соответственно.

Полученные в результате проведенных исследований данные позволили провести дифференциацию генотипов гороха по группам засухоустойчивости (табл. 3).

Таблица 3

Дифференциация генотипов гороха по параметрам, характеризующим относительную засухоустойчивость

№ п/п	Индекс длины корня			Потери воды, %		
	Слабоустойчивые 0,30-0,40	Среднеустойчивые 0,41-0,50	Устойчивые 0,52-0,62	Слабоустойчивые 22,58-23,35	Среднеустойчивые 21,79-22,57	Устойчивые 21,00-21,78
1	Яг-12-37	Яг-10-384	Яг-16-41	Яг-10-384	Яг-16-107	Яг-16-41
2	Яг-16-107	Яг-16-721/1	Яг-16-96	Яг-12-37	Темп	Яг-16-96
3	Яг-16-721		Ягуар	Яг-16-721		Ягуар
4	Гамбит		Темп	Яг-16-721/1		
5				Гамбит		

Как следует из таблицы 3 в группу устойчивых как по индексу длины корня, так и по потерям воды растениями в процессе завядания, характеризующим водоудерживающую способность тканей, вошли генотипы Яг-16-41, Яг-16-96 и Ягуар. Сорт Темп по индексу длины корня вошел в группу устойчивых, а по потерям воды в процессе завядания оказался в группе среднеустойчивых. Это можно объяснить тем, что этот сорт, в свое время, был получен в результате отбора по начальному темпу роста зародышевого корешка.

Большинство изученных генотипов попали в одну группу устойчивости по обоим параметрам. Наблюдаемый незначительный разброс генотипов по группам устойчивости вероятно можно объяснить различными механизмами устойчивости, формирующимися у растений в процессе онтогенеза.

Заключение

В результате исследований проведен анализ относительной засухоустойчивости перспективных линий гороха селекции ФНЦ ЗБК. Выявлены генотипические различия среди изученных генотипов гороха усатого, листочкового и гетерофилльного морфотипов по устойчивости к засухе. Показано, что раствор сахарозы с осмотическим давлением 10 атм. позволяет дифференцировать генотипы на ранних этапах онтогенеза. Достаточно четким показателем влияния моделируемой физиологической засухи служит индекс длины корня (ИДК). Значение ИДК в опыте варьировало от 0,30 (Яг-16-721) до 0,61 (Яг-16-96). Определение водоудерживающей способности в процессе завядания в фазу бутонизация-начало цветения позволило оценить устойчивость к обезвоживанию на уровне целых растений. Потери воды растениями за 6 часов завядания находились в пределах от 21,00% (Яг-16-96) до 23,33% (Яг-12-37).

Полученные данные позволили дифференцировать генотипы по группам устойчивости. В целом по проанализированным показателям (индекс длины корня и водоудерживающая способность растений в процессе завядания) среди изученного материала наибольшую относительную засухоустойчивость продемонстрировали селекционные линии Яг-16-41, Яг-16-96 и сорт Ягуар.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FGZZ-2022-0005.

Литература

1. Зотиков В.И., Полухин А.А., Грядунова Н.В., Сидоренко В.С., Хмызова Н.Г. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 4 (36). – С. 5-17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198.
2. Амелин А.В., Чекалин Е.И. Адаптивные способности растений гороха и их изменения в результате селекции. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 2 (30). – С. 4-14. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11081.
3. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе. // Проблемы прогнозирования. – 2020. – № 3. – С.82-92.
4. Hari V., Rakovec O., Markonis Ya., Hanel M., Rumar 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.
5. Вавилов Н.И. Избранные сочинения. Генетика и селекция. – М., Из-во «Колос», – 1966. – 559 с.
6. Зеленов А.Н., Зеленов А.А. Сто лет орловской селекции гороха. Итоги и перспективы.// Зернобобовые и крупяные культуры. – 2022. – № 2 (42). – С. 41-59. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-41-59.

7. Зеленов А.Н., Задорин А.М., Зеленов А.А. Первые результаты создания сортов гороха морфотипа хамелеон. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2018. – № 2 (26). – С. 10-17. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10009.
8. Семенова Е.В., Косарева И.А. Диагностика засухоустойчивости образцов гороха (*Pisum sativum* L.) из коллекции ВИР. // Биотехнология и селекция растений. – 2021. – 4 (2). – С.5-14. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-01.
9. Соболева Г.В., Зеленов А.А., Соболев А.Н. Характеристика образцов гороха морфотипа хамелеон по относительной засухоустойчивости. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2021. – № 2 (38). – С.38-44. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-38-44.

References

1. Zotikov V.I., Polukhin A.A., Gryadunova N.V., Sidorenko V.S., Khmyzova N.G. Development of grain legumes and cereals production in Russia based on the use of breeding achievements. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2020, no.4(36), pp. 5-17. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11198.
2. Amelin A.V., Chekalin E.I. Adaptive abilities of pea plants and their changes as a result of breeding. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2019, no.2(30), pp. 4-14. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11081.
3. Ksenofontov M.Yu., Polzikov D.A. The impact of climate change on the development of Russian agriculture in the long term. *Problemy prognozirovaniya*. 2020, no.3, pp.82-92.
4. Hari V., Rakovec O., Markonis Ya., Hanel M., Rumar 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.
5. Vavilov N.I. Selected Essays. Genetics and breeding. Moscow., «Kolos» Publ., 1966, 559 p.
6. Zelenov A.N., Zelenov A.A. One hundred years of Oryol pea breeding. Results and prospects. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2022, no.2(42), pp. 41-59. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-41-59.
7. Zelenov A.N., Zadorin A.M., Zelenov A.A. First results of the development of chameleon morphotype pea varieties. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2018, no.2(26), pp. 10-17. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-10009.
8. Semenova E.V., Kosareva I.A. Diagnostics of drought tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) accessions from the VIR collection. *Biotehnologiya i selektsiya rastenii*. 2021, no.4(2), pp.5-14. DOI: 10.30901/2658-6266-2021-2-01.
9. Soboleva G.V., Zelenov A.A., Sobolev A.N. Characterisation of chameleon morphotype pea accessions for relative drought tolerance. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2021, no.2(38), pp.38-44. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-38-44.