

ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ ПЕРЦА ОСТРОГО В НЕОБОГРЕВАЕМЫХ ТЕПЛИЦАХ

Н. В. ДЫДЫШКО, Т. В. НИКОНОВИЧ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407; e-mail: dydyshko_natalia@mail.ru

(Поступила в редакцию 05.01.2023)

Создание гетерозисных гибридов, обладающих широкой экологической устойчивостью, является важным направлением в селекции сельскохозяйственных культур. Для селекционной работы практическую ценность представляют гибриды с высокой общей адаптивной способностью, которая характеризует генотипы по возможности обеспечивать максимальный уровень проявления признака. Целью наших исследований явилась оценка параметров адаптивных свойств гибридов перца остроного, испытанных в разные годы, по признакам ранняя и общая урожайность, а также определение генотипов, сочетающих высокую продуктивность с параметрами экологической стабильности.

Наибольшей общей адаптивной способностью по ранней урожайности отличались гибридные комбинации Лара x Каин, Лара x Красный дракон, Лара x Ёжик, Девятка x Ёжик. По общей урожайности наибольшая адаптивная способность отмечена у гибридов Лара x Ёжик, Волгоград x Ёжик, Девятка x Китай, Девятка x Ёжик, Халапеньо x Ёжик, Агдас x Ёжик. Максимальная стабильность по ранней урожайности отмечена у образца Агдас x Красный дракон. По общей урожайности наибольшую стабильность проявили гибридные комбинации Лара x Ёжик, Девятка x Феферона красная, Лара x Красный дракон. Показатель селекционной ценности генотипа по ранней урожайности колебался в пределах от 0,03 до 0,77, максимальное значение имел образец Волгоград x Феферона красная. Селекционная ценность генотипа по общей урожайности изменялась в пределах от 0,05 до 3,04, максимальные значения имели гибриды Лара x Ёжик, Лара x Красный дракон, Девятка x Китай. Высокими показателями адаптивной способности и продуктивности по изучаемым признакам обладали Девятка x Ёжик, Волгоград x Ёжик, Девятка x Китай, Лара x Ёжик, Халапеньо x Ёжик, Агдас x Ёжик. Три из вышеуказанных гибридных комбинаций были переданы в Инспекцию государственного испытания и охраны сортов растений при Минсельхозпрод Республики Беларусь под названиями Дыдыш, Василек, Захар.

Ключевые слова: перец остроный, гибрид, урожайность, факторы среды, адаптивная способность, экологическая стабильность.

The creation of heterotic hybrids with broad ecological stability is an important direction in crop breeding. For breeding work, hybrids with a high general adaptive ability, which characterizes genotypes to ensure the maximum level of manifestation of a trait, are of practical value. The aim of our research was to evaluate the parameters of the adaptive properties of hot pepper hybrids tested in different years, according to the characteristics of early and total yield, as well as to determine genotypes that combine high productivity with environmental stability parameters.

The hybrid combinations Lara x Cain, Lara x Red Dragon, Lara x Hedgehog, Nine x Hedgehog had the highest general adaptive ability in terms of early yield. In terms of total productivity, the highest adaptive ability was noted in hybrids Lara x Hedgehog, Volgograd x Hedgehog, Nine x China, Nine x Hedgehog, Jalapeno x Hedgehog, Agdas x Hedgehog. The maximum stability in terms of early yield was noted in the Agdas x Red Dragon sample. In terms of overall yield, the hybrid combinations Lara x Hedgehog, Nine x Feferon red, Lara x Red Dragon showed the greatest stability. The indicator of the breeding value of the genotype for early yield ranged from 0.03 to 0.77, the maximum value was in the sample Volgograd x Feferona red. The breeding value of the genotype in terms of total yield varied from 0.05 to 3.04, the maximum values were in hybrids Lara x Hedgehog, Lara x Red Dragon, Nine x China. Nine x Hedgehog, Volgograd x Hedgehog, Nine x China, Lara x Hedgehog, Jalapeno x Hedgehog, Agdas x Hedgehog had high rates of adaptive ability and productivity according to the studied traits. Three of the above hybrid combinations were submitted to the Inspectorate for State Testing and Protection of Plant Varieties under the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus under the names Dydysh, Vasilek, Zakhar.

Key words: hot pepper, hybrid, productivity, environmental factors, adaptive capacity, ecological stability.

Введение

Гетерозисная селекция является одним из перспективных направлений создания гибридов растений. Она широко применяется для различных сельскохозяйственных культур. Оценка адаптивной способности и экологической стабильности гибридных комбинаций дает возможность получать образцы с хорошими приспособительными свойствами.

Главные требования, которые предъявляются к новому гибриду, – это сочетание высокой продуктивности растений с устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды. Такой гибрид может получить распространение при производстве в том случае, если он в благоприятных условиях характеризуется наибольшей урожайностью и при этом формирует стабильный урожай в иных условиях, то есть будет высоко адаптивным [7].

По мнению А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой, основными особенностями адаптивной селекции в отличие от традиционных методов являются ее региональный характер и экологическая направленность, а значит создание сортов и гибридов для конкретного региона с учетом вариабельности факторов локальной среды [5].

Экологическая стабильность – это способность генотипа поддерживать определенный фенотип в различных условиях, пластичность – это реакция генотипа на изменение условий среды, проявляющаяся в фенотипической изменчивости.

Эффективность отбора во многом зависит от правильного выбора фона, на котором ведется отбор. Основными параметрами, которыми должен обладать селекционный фон являются типичность и дифференцирующая способность.

По мнению К. D. Brown оптимальная для селекции среда должна способствовать проявлению признака, максимизировать генетическую вариацию, минимизировать средовую вариацию «генотип x среда», быть типичной, доступной для эффективного испытания, сохранять относительную стабильность условий от 1 до 5 лет.

А. В. Кильчевским, Л. В. Хотылевой [3, 4, 5, 6] разработан метод генетического анализа, основанный на испытании генотипов в различных средах, позволяющий выявить общую и специфическую адаптивную способность генотипов, их стабильность, селекционную ценность, а также вести отбор по адаптивной способности в зависимости от поставленных селекционных задач.

В связи с этим целью наших исследований являлась оценка адаптивной способности и экологической стабильности гибридов F₁ перца острого по признакам продуктивности, а также выявление гибридных комбинаций, сочетающих высокую урожайность и экологическую стабильность.

Основная часть

Научно-исследовательская работа выполнялась в течение 2018–2020 гг. на опытном поле кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии УО БГСХА. Закладка опыта осуществлялась с использованием общепринятых методик и методических указаний [2]. Объектом исследований являлись гибриды перца острого, полученные по схеме топкросса. Стандартом был сорт Ёжик. Оценку адаптивной способности и экологической стабильности гетерозисных гибридов по ранней и общей урожайности проводили по методу А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылёвой [5, 7]. Используемая методика основана на испытании генотипов в различных средах и позволяет выявлять общую адаптивную способность (ОАС), характеризующую среднее значение признака в различных условиях среды; относительную стабильность генотипов (Sgi), которая указывает, насколько сорт отзывчив на условия среды и стабилен в определенных условиях; реакцию генотипа на среду (bi), характеризующий реакцию сортов на изменение условий выращивания; селекционную ценность генотипа (СЦГ) – параметр, характеризующий сочетание высокой продуктивности и стабильности в одном генотипе.

Дифференцирующую способность сред характеризовали с помощью параметров: продуктивность среды – d_k, вариация взаимодействия «генотип–среда» – $\sigma^2_{(G \times E)_{ek}}$, вариация дифференцирующей способности среды – σ^2_{DCCk} , относительная дифференцирующая способность среды – S_{ek}, коэффициент нелинейности ответа генотипов на среду – l_{ek}, коэффициент предсказуемости – P_{ek}.

Двухфакторный дисперсионный анализ позволил выявить достоверные различия между эффектами генотипов, сред и взаимодействия между ними по изучаемым признакам (табл. 1).

Средние квадраты сред значительно превосходили средние квадраты генотипов по ранней и общей урожайности, что свидетельствует о преобладающей доле средовых эффектов в фенотипической изменчивости указанных признаков.

Таблица 1. Дисперсионный анализ признаков продуктивности гетерозисных гибридов перца острого

Компоненты дисперсии	Степени свободы	Средние квадраты	
		Ранняя урожайность	Общая урожайность
По средам (А)	2	3,59**	26,12**
По генотипам (В)	35	0,57**	2,22**
По взаимодействию (АВ)	70	0,21**	0,83**
Случайное	216	0,024	0,08

Примечание: **– достоверно при P = 0,01; * – достоверно при P = 0,05.

Учитывая большое разнообразие полученных гибридов F₁ перца острого, интерес представляет анализ их адаптивной способности и экологической стабильности. Основные параметры приведены в табл. 2 и 3. Ранняя урожайность изучаемых генотипов в среднем колебалась от 0,14 до 1,01 кг/м² (табл. 2). Наибольшую раннюю урожайность за анализируемый период имели образцы Лара×Ёжик, Лара × Красный дракон, Лара×Каин. Высокой ОАС по ранней урожайности обладали гибриды Лара x Каин, Лара x Красный дракон, Лара x Ёжик, Девятка x Ёжик. В наших исследованиях большая отзывчивость на улучшение условий выращивания (bi >1) по ранней урожайности отмечена у 17 генотипов, наиболее пластичными были Лара×Ёжик, Зимрид x Ёжик, Девятка x Ёжик, Агдас x Ёжик со значениями bi =1,9-3,3. Коэффициент регрессии равный или близкий к единице (bi = 0,93), как у образца Агдас x Феферона красная, означает, что урожайность гибрида меняется в зависимости от изменений

условий выращивания. Остальные генотипы имели коэффициент регрессии ($b_i < 1$), наибольшее значение среди них отмечено у гибридов Агдас x Красный дракон, Агдас x Каин, Чегевара x Каин.

Таблица 2. Показатели адаптивной способности и стабильности гибридов перца острого по ранней урожайности (2018-2020 гг.)

Наименование гибрида	Среднее значение генотипа X_i	ОАС(D) (g)	Относительная стабильность S_{gi}	Коэффициент регрессии b_i	Селекционная ценность генотипа СЦГ
Стандарт Ёжик	0,10	-0,40	80,10	0,54	0,02
Девятка x Каин	0,77	0,28	78,50	1,50	0,20
Девятка x Китай	0,72	0,23	44,40	-0,14	0,42
Девятка x Феферона красная	0,84	0,34	53,50	1,84	0,41
Девятка x Красный дракон	0,62	0,12	60,00	1,59	0,27
Девятка x Ёжик	0,86	0,36	65,44	2,40	0,33
Волгоград x Каин	0,69	0,20	44,70	1,72	0,40
Волгоград x Китай	0,29	-0,21	68,30	0,18	0,10
Волгоград x Феферона красная	0,78	0,28	0,00	-0,24	0,77
Волгоград x Красный дракон	0,37	-0,12	0,00	-0,11	0,37
Волгоград x Ёжик	0,81	0,29	28,90	1,27	0,57
Лара x Каин	1,01	0,53	40,70	1,17	0,63
Лара x Китай	0,48	-0,03	71,20	0,42	0,15
Лара x Феферона красная	0,64	0,14	44,10	1,55	0,37
Лара x Красный дракон	0,96	0,46	32,40	1,53	0,66
Лара x Ёжик	0,89	0,37	89,50	3,30	0,14
Халапеньо x Каин	0,34	-0,16	110,10	1,83	-0,01
Халапеньо x Китай	0,14	-0,36	36,00	0,43	0,09
Халапеньо x Феферона красная	0,39	-0,10	50,40	1,05	0,21
Халапеньо x Красный дракон	0,19	-0,30	30,60	0,49	0,14
Халапеньо x Ёжик	0,36	-0,14	77,20	1,50	0,11
Агдас x Каин	0,43	-0,07	38,70	0,66	0,27
Агдас x Китай	0,36	-0,14	14,80	0,46	0,30
Агдас x Феферона красная	0,67	0,18	23,20	0,93	0,52
Агдас x Красный дракон	0,40	-0,10	28,00	0,72	0,29
Агдас x Ёжик	0,29	-0,21	133,00	1,90	-0,07
Зимрид x Каин	0,49	-0,01	60,20	1,59	0,21
Зимрид x Китай	0,24	-0,26	40,69	0,26	0,14
Зимрид x Феферона красная	0,44	-0,06	36,80	0,48	0,28
Зимрид x Красный дракон	0,52	-0,02	55,40	1,51	0,25
Зимрид x Ёжик	0,59	0,09	109,20	2,90	-0,01
Чегевара x Каин	0,29	0,21	46,50	0,74	0,16
Чегевара x Китай	0,17	-0,33	77,10	0,58	0,05
Чегевара x Феферона красная	0,36	-0,14	39,70	-0,80	0,22
Чегевара x Красный дракон	0,14	-0,36	81,60	-0,35	0,03
Чегевара x Ёжик	0,34	-0,16	28,20	0,59	0,25

Показатель относительной стабильности у изучаемых гибридов варьировал от 0 до 133,0. Низкая стабильность по ранней урожайности значительно снижают СЦГ образца Лара x Ёжик. Значения СЦГ колебались в пределах от 0,03 до 0,77, максимальное значение имел образец Волгоград x Феферона красная.

По общей урожайности 11 образцов превзошли стандарт сорт Ёжик (табл.3). Среди них лучшими были гибриды Девятка x Китай, Девятка x Ёжик, Волгоград x Ёжик, Лара x Красный дракон, Лара x Ёжик, Халапеньо x Ёжик, Агдас x Ёжик, урожайность которых варьировала от 2,6 до 3,3 кг/м². Наибольшая ОАС отмечена у гибридных комбинаций Лара x Ёжик, Волгоград x Ёжик, Чегевара x Красный дракон, Девятка x Китай, Девятка x Ёжик, Халапеньо x Ёжик, Агдас x Ёжик.

Таблица 3. Показатели адаптивной способности и стабильности гибридов перца острого по общей урожайности (2018–2020 гг.)

Наименование гибрида	Среднее значение Генотипа X_i	ОАС (I) (g)	Относительная стабильность	Коэффициент регрессии b_i	Селекционная ценность генотипа СЦГ
Стандарт Ёжик	2,33	0,21	17,77	0,53	1,57
Девятка x Каин	2,15	0,01	28,60	1,28	0,98
Девятка x Китай	3,05	0,89	14,40	-0,34	2,21
Девятка x Феферона красная	2,44	0,29	20,10	0,80	1,51
Девятка x Красный дракон	2,38	0,23	23,80	1,07	1,31
Девятка x Ёжик	2,94	0,79	32,50	1,94	1,13
Волгоград x Каин	2,21	0,06	8,90	0,46	1,83
Волгоград x Китай	2,11	-0,04	0,00	-0,01	2,11
Волгоград x Феферона крас-	2,28	0,13	8,50	0,46	1,90
Волгоград x Красный дракон	1,85	-0,29	4,10	-0,01	1,71
Волгоград x Ёжик	3,16	1,01	42,50	2,11	0,62
Лара x Каин	2,44	0,29	20,20	1,04	1,51
Лара x Китай	2,00	-0,15	15,50	0,36	1,41
Лара x Феферона красная	1,75	-0,39	27,50	0,96	0,84
Лара x Красный дракон	2,60	0,45	6,90	-0,39	2,26
Лара x Ёжик	3,37	1,22	5,08	0,01	3,04
Халапеньо x Каин	2,25	0,09	24,80	0,51	1,19
Халапеньо x Китай	2,20	0,05	13,10	0,49	1,66
Халапеньо x Феферона крас-	2,32	0,17	53,20	2,33	-0,02
Халапеньо x Красный дракон	2,15	0,01	41,40	1,65	0,46
Халапеньо x Ёжик	2,60	0,48	50,40	2,71	0,12
Агдас x Каин	1,64	-0,51	39,90	1,32	0,40
Агдас x Китай	1,92	-0,22	32,20	1,27	0,74
Агдас x Феферона красная	1,92	-0,23	27,80	1,04	0,91
Агдас x Красный дракон	1,95	-0,20	29,60	1,08	0,86
Агдас x Ёжик	3,20	0,41	37,20	2,61	1,37
Зимрид x Каин	1,90	-0,24	36,70	1,16	0,58
Зимрид x Китай	1,70	-0,43	18,62	0,64	1,11
Зимрид x Феферона красная	2,01	-0,18	33,59	1,25	0,72
Зимрид x Красный дракон	2,02	-0,13	12,91	0,59	1,52
Зимрид x Ёжик	2,37	0,23	44,89	1,99	0,36
Чегевара x Каин	1,32	-0,85	54,66	1,44	-0,05
Чегевара x Китай	1,40	-0,74	15,58	0,50	0,99
Чегевара x Феферона красная	1,47	-0,67	8,65	0,37	1,23
Чегевара x Красный дракон	1,08	1,06	0,00	-0,09	1,08
Чегевара x Ёжик	1,91	0,23	49,00	1,78	0,13

Параметр относительной стабильности генотипа не связан с общей адаптивной способностью и носит относительный характер. Многие исследователи указывают на наследственный характер данного показателя, что позволяет использовать генотипы в селекции на стабильность. На основании анализа относительной стабильности (S_{gi}) наименьшая изменчивость высокоурожайных гибридов отмечена у образцов Лара x Красный дракон, Лара x Ёжик. (5,08–6,09 %). Низкая стабильность гибрида Халапеньо x Ёжик значительно снизила СЦГ – 0,12. В целом селекционная ценность генотипа колебалась в пределах от -0,05 до 3,04, максимальные значения имели Лара x Ёжик, Лара x Красный дракон, Девятка x Китай.

По общей урожайности у 18 гибридных комбинаций отмечен коэффициент регрессии больше единицы. Наибольшая пластичность наблюдалась у образцов Халапеньо x Ёжик, Агдас x Ёжик, Халапеньо x Феферона красная ($b_i = 2,33-2,71$). Коэффициент регрессии близкий к единице ($b_i = 1,04$) установлен у гибрида Агдас x Феферона красная. Лучшие по ОАС стабильные формы с коэффициентом

регрессии $b_i < 1$ являлись гибридные комбинации Лара х Ёжик, Девятка х Феферона красная, Лара х Красный дракон.

Одним из преимуществ методики А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылёвой (1985) является возможность характеризовать среды испытаний по дифференцирующей способности, типичности и ряду других параметров (табл. 4).

Таблица 4. Основные параметры среды как фона для отбора гибридов перца острого по общей урожайности

Год (среда)	d_k	Ранг	$\sigma^2_{(GxE)ek}$	Ранг	σ^2_{DCC}	Ранг	S_{ek}	Ранг	l_{ek}	Ранг	P_{ek}	Ранг
2018	0,64	3	0,25	3	0,43	3	40,5	3	1,96	1	0,26	1
2019	0,83	1	0,11	1	0,41	2	28,3	2	1,83	2	0,23	2
2020	0,80	2	0,12	2	0,37	1	23,5	1	1,69	3	0,18	3

Параметры d_k характеризуют продуктивность среды, их значения свидетельствуют, что наибольшую продуктивность гетерозисных гибридов перца острого среда обеспечивала в 2019 году. Наиболее низкой продуктивности изучаемых образцов способствовали условия 2018 года. Варианса взаимодействия $\sigma^2_{(GxE)ek}$ характеризует способность среды вызывать взаимодействие «генотип – среда». Установлено, что, в наиболее благоприятных условиях 2019 года способность среды вызывать генотип-средовые взаимодействия наименьшая. Величина параметра предсказуемости среды P_{ek} у изученных условий оказалась средней, что свидетельствует об их пригодности для выявления адаптивных по урожайности генотипов. Коэффициент нелинейности ответа генотипа на условия среды l_{ek} , был больше 1,0, что указывает на значительный эффект взаимодействия «генотип – среда» в применяемых средах. Наивысшая нелинейность отмечена в условиях 2018 года. Согласно параметрам сред как фона для отбора по признаку «общая урожайность», условия 2019 г были наиболее типичными для проявления данного признака.

Заключение

В ходе проведенных исследований установлено, что на фенотипическую изменчивость ранней и общей урожайности в большей степени влияют средовые эффекты. Наибольшей общей адаптивной способностью по признаку «ранняя урожайность» обладали следующие гибридные комбинации: Лара х Каин, Лара х Красный дракон, Лара х Ёжик, Девятка х Ёжик. По общей урожайности – Лара х Ёжик, Волгоград х Ёжик, Девятка х Китай, Девятка х Ёжик, Халапеньо х Ёжик, Агдас х Ёжик.

Согласно параметрам типичности сред по общей урожайности условия 2019 г. были наиболее типичными для проявления данного признака.

Среди изучаемых гибридных комбинаций перца острого установлены лучшие, обладающие высокими показателями адаптивной способности и продуктивности по изучаемым признакам урожайности – это Лара х Ёжик, Волгоград х Ёжик, Девятка х Китай, Девятка х Ёжик, Халапеньо х Ёжик, Агдас х Ёжик. Три из вышеуказанных гибридных комбинаций были переданы в Инспекцию государственного испытания и охраны сортов растений при Минсельхозпрод Республики Беларусь под названиями Дыдыш, Василек, Захар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vrjwn K. D., Sorrels M. E. // Crop Sci. 1983. Vol.23, №5 P. 889–893.
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Кильчевский, А. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов дифференцирующей способности среды. Сообщение 1. Обоснование метода / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылёва // Генетика. – 1985. – 21(9):1481–1490.
4. Кильчевский, А. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщ. 1. Обоснование метода / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылёва // Генетика. – 1985. – Т. XXI, № 9. – С. 1481–1490.
5. Кильчевский, А. В. Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылёва. – Минск: Технология, 1997. – 372 с.
6. Кильчевский, А. В. Генотип и среда в селекции растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылёва // Ин-т генетики и цитологии АН БССР и др. – Минск: Наука и техника, 1989. – 191 с.
7. Корзун, О. С. Адаптивные особенности селекции и семеноводства сельскохозяйственных растений: пособие / О. С. Корзун, А. С. Бруйло. – Гродно: ГГАУ, 2011. – 140 с.
8. Пивоваров, В. Ф. Экологические основы селекции и семеноводства овощных культур / В. Ф. Пивоваров, Е. Г. Добруцкая. – М, 2000. – 592 с.
9. Сюков, В. В. Экологическая селекция растений: типы и практика (обзор) / В. В. Сюков, А. И. Менибаев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 4 (3). – С. 463–466.