ISSN 1817-7204(Print)
ISSN 1817-7239(Online)
УДК [635.64:631.526.325]:631.544.4
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-330-339

Поступила в редакцию 17.05.2021
Received 17.05.2021

И. Е. Баева[1], И. Г. Пугачева[1], М. М. Добродькин[1], А. В. Кильчевский[2]

[1]Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки, Могилевская область, Беларусь
[2]Институт генетики и цитологии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ГЕТЕРОЗИСНЫХ ГИБРИДОВ ТОМАТА (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) В ГРУНТОВЫХ ТЕПЛИЦАХ

Аннотация: В условиях производства особую ценность имеют сорта и гибриды, стабильные по урожайности и пригодные для возделывания в различных почвенно-климатических зонах. Новые создаваемые селекционерами сорта должны характеризоваться наибольшей урожайностью в благоприятных условиях и при этом формировать стабильный урожай в иных условиях, т.е. быть высоко адаптивными. Цель исследований – оценка параметров экологической стабильности и пластичности гибридов томата по основным признакам урожайности и выделение образцов, обладающих высокой продуктивностью и стабильностью в грунтовых теплицах. Расчет показателей адаптивной способности и экологической стабильности проводили по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой с помощью программы ADIS. В результате выделены урожайные гибриды, обладающие высокой общей адаптивной способностью по следующим признакам: ранняя урожайность – Никола×Линия-2, Линия-4×Линия-2, Никола×Линия 19/3, Никола×Линия-9, Линия ТХ-144×Иришка, Линия Б-3-1-8×Линия, 19/0 Линия С-9464×Линия 19/0; товарная урожайность – Никола×Линия-2, ТХ-144×Линия-2, Линия ТХ-144×Иришка, ТХ-140×Линия-2, Линия ТХ-140×Линия 19/3, Линия Б-3-1-8×Линия 19/0, Линия С-9464×Линия 19/0; масса товарного плода – Никола×Линия 19/3, Линия ТХ-144×Линия 19/3, Линия Б-3-1-8×Линия 19/0. Для гибридов Никола×Линия-2, Линия-4×Линия-2, ТХ-140×Линия-2, Линия Б-3-1-8×Линия 19/0, Линия ТХ-144×Иришка характерно стабильное проявление большинства признаков урожайности. Гибридные комбинации Азарт и Витязь успешно прошли испытание и районированы на территории Республики Беларусь. Таким образом, доказана целесообразность оценки экологической стабильности и пластичности на конечном этапе селекции, что уменьшает возможность ошибки при выборе гибридов для передачи в ГСИ. **Благодарности.** Работа велась в рамках Государственной программы «Инновационные биотехнологии» на 2010–2012 годы и на период до 2015 года», а также Межгосударственной целевой программы Евразийского экономического сообщества «Инновационные биотехнологии» на 2011–2015 годы.

Ключевые слова: томат, сорт, гибрид F_1, *Solanum lycopersicum*, селекция, грунтовые теплицы, адаптивная способность, экологическая стабильность, урожайность, фон для отбора, селекционная ценность генотипа

Для цитирования: Параметры адаптивности и стабильности гетерозисных гибридов томата (*Solanum lycopersicum* L.) в грунтовых теплицах / И. Е. Баева, И. Г. Пугачева, М. М. Добродькин, А. В. Кильчевский // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 330–339. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-330-339

Iryna E. Bayeva[1], Iryna G. Puhachova[1], Mikhail M. Dabrodzkin[1], Alexander V. Kilchevsky[2]

[1]Belarusian State Agricultural Academy, Gorki, Mogilev region, Belarus
[2]Institute of Genetics and Cytology of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

ADAPTABILITY AND STABILITY PARAMETERS OF HETEROTIC TOMATO HYBRIDS (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) IN SOIL GREENHOUSES

Abstract: Varieties and hybrids which are stable in yield and suitable for cultivation in various soil and climatic zones have a particular value within the conditions of industrial production. New varieties created by breeders should be characterized by the highest yield in favorable conditions, and, at the same time, by the stable yield in other conditions, i.e. be highly accommodative. The aim of the research was to assess environmental stability and plasticity parameters of tomato hybrids according to the main characteristics of yield and then to select the hybrids F1 with high productivity and stability in soil greenhouses. The calculation of adaptive ability and ecological stability indexes was carried out according to the method of A. V. Kilchevsky and L. V. Khotyleva using the ADIS program. As a result, some hybrids were identified as heavy yielding and with high general adaptive ability according to the following parameters: early fruit yield - Nikola×Line-2, Line-4×Line-2, Nikola×Line 19/3, Nikola×Line-9, Line TX-144×Irishka, Line B-3-1-8×Line 19/0, Line C-9464×Line 19/0; on the basis of "commercial fruit yield" - Nikola×Line-2, TX-144×Line-2, Line TX-144×Irishka, TX-140×Line-2, Line TX-140×Line 19/3, Line B-3-1-8×Line 19/0, Line C-9464×Line 19/0; by the weight of commercial fruit - Nikola×Line 19/3, Line TX-144×Line 19/3, Line B-3-1-8×Line 19/0. Greater part of yield parameters was stable for hybrids Nikola×Line-2, Line-4×Line-2, TX-140×Line-2, Line B-3-1-8×Line 19/0, Line TX-144×Irishka. Hybrids combinations

Национальная академия наук Беларуси

Azart and Vityaz have successfully passed the test and were recommended for planting on the territory of the Republic of Belarus. Thus, feasibility of ecological stability and plasticity assessment at the final stage of breeding process has been proven. It reduces possibility of errors in choosing hybrids for State testing procedures. Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State Program "Innovative Biotechnologies" for 2010-2012 and for the period up to 2015", as well as the Interstate Target Program of the Eurasian Economic Community "Innovative Biotechnologies" for 2011-2015.

Keywords: tomato, variety, hybrid F_1, *Solanum lycopersicum*, breeding, soil greenhouses, adaptive ability, ecological stability, yield, background for selection, breeding value of genotype

For citation: Bayeva I. E., Puhachova I. G., Dabrodzkin M. M., Kilchevsky A. V. The adaptivity and stability parameters of tomato heterosis hybrids (*Solanum lycopersicum* L.) in soil greenhouses. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series,* 2021, vol. 59, no 3, pp. 330-339 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-3-330-339

Введение. Для сельскохозяйственного производства особую ценность представляют сорта и гибриды, стабильные по урожайности и пригодные для возделывания в различных почвенно-климатических условиях. Поэтому важной задачей селекционеров является не только повышение продуктивности растений, но и сочетание ее с устойчивостью к абиотическим и биотическим стрессам. Новые сорта должны характеризоваться наибольшей урожайностью в благоприятных условиях и при этом формировать стабильный урожай в иных условиях, т. е. быть высоко адаптивными.

Авторы, в разное время занимавшиеся изучением стабильности и пластичности, по-разному трактуют эти понятия. Например, S. A. Eberhart, W. A. Russel, G. C. C. Tai считали, что экологическая пластичность генотипа – это его способность адекватно реагировать на изменяющиеся условия произрастания [1, 2]. В. З. Пакудин, Л. М. Лопатина утверждали, что способность генотипов формировать высокую урожайность в различных почвенно-климатических условиях, а также отзываться на улучшение технологии возделывания, является экологической пластичностью сорта [3, 4].

В агрономическом понимании экологически устойчивый сорт – это сорт, формирующий как в благоприятных, так и в неблагоприятных условиях не слишком высокую, но стабильную урожайность. В связи с этим интенсивные сорта с высоким генетическим потенциалом продуктивности следует возделывать в более благоприятных условиях. В сложных почвенно-климатических условиях следует выращивать более пластичные сорта с высоким адаптивным потенциалом [5].

А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева считают, что экологическая стабильность генотипа проявляется в поддержании определенного фенотипа в различных условиях среды, а пластичность выражается в реакции генотипа на изменения условий среды, проявляющиеся в фенотипической изменчивости [6]. Такое разнообразие формулировок объясняет применение различных методов оценки и используемых при этом параметров.

Стабильность и пластичность признака являются двумя противоположными сторонами модификационной изменчивости генотипа, т. е. генотип не может быть одновременно стабильным и пластичным по изучаемому признаку [7]. При этом стабильность в проявлении одного признака может сочетаться с пластичностью в проявлении другого [8, 9].

Существенным аспектом при отборе адаптивных сортов и гибридов является поиск среды, пригодной в качестве фона для отбора. Ошибка в выборе среды на любом этапе селекции приводит к необъективной оценке генотипов и потере ценного селекционного материала [10].

Первым и наиболее важным качеством, которым должен обладать селекционный фон, является типичность, т.е. соответствие условий отбора тем средовым и агротехническим условиям, в которых в дальнейшем будет выращиваться сорт [11, 12]. Вторым необходимым требованием к фону для отбора является способность выявлять изменчивость, поскольку одна и та же популяция может быть фенотипически однообразной в одних условиях и разнообразной в других [13, 14].

Е. Н. Синская подразделила фоны по их способности выявлять изменчивость на три группы: стабилизирующий фон, в котором полиморфизм не проявляется; анализирующий фон, способствующей обнаружению изменчивости в популяции; нивелирующий фон – угнетающий жизнеспособность биотипов и нивелирующий различия между ними [15].

Национальная академия наук Беларуси

В. Ф. Пивоваров, Е. Г. Добруцкая считают, что испытание изучаемого материала в шести различных пунктах в течение одного года приравнивается к оценке в одной местности в течение 6 лет [16].

В. А. Драгавцев и другие разработали специальный тест рангового контроля продуктивности, который позволяет путем суммирования разницы между рангами в различных условиях выявлять, как влияет изменение факторов среды на характер изменчивости в селектируемой популяции [17] .

А. В. Кильчевским предложена оценка селекционного материала в шести основных совокупностях сред: 1) генбанки, генколлекции; 2) научно-исследовательские учреждения, создающие сорт; 3) научно-исследовательские и опытные учреждения, проводящие экологическое сортоиспытание; 4) сеть сортоучастков государственного сортоиспытания; 5) специализированные семеноводческие хозяйства; 6) хозяйства, занимающиеся товарным производством данной культуры, что в совокупности позволяет проводить объективную оценку исследуемых образцов [18].

В связи с тем, что при выращивании томата в грунтовых неотапливаемых теплицах невозможно полностью контролировать условия микроклимата, в качестве важнейшей характеристики возделываемых гибридов следует рассматривать способность формировать стабильно высокий урожай в реально складывающихся условиях вегетационного сезона.

Цель исследования – оценка параметров экологической стабильности и пластичности гибридов томата по основным признакам урожайности и выделение образцов, обладающих высокой продуктивностью и стабильностью в грунтовых теплицах.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили в грунтовых теплицах на опытном поле кафедры сельскохозяйственной биотехнологии и экологии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии в 2012–2015 гг. Почва опытного участка – антропогенно-преобразованная, агроторфяная, поверхностно-перемешанная, насыпная, маломощная.

В годы исследований наблюдалось значительное разнообразие метеоусловий, что позволило всесторонне изучить проявление адаптивной способности и экологической стабильности изучаемых гибридов.

В 2012 г. при повышенном количестве осадков температурный режим не отличался от среднемноголетних значений. Наиболее благоприятным годом для роста и развития растений был 2013 г., он характеризовался теплым весенне-летним периодом без избыточного увлажнения. Развитие рассады проходило в оптимальных для теплолюбивой культуры условиях – во II декаде мая температура превышала среднемноголетние значения на 8 °С, что обусловило формирование высокой урожайности. Температурные условия в 2014 и 2015 гг. были благоприятными, однако 2015 г. был засушливым по сравнению с остальными годами исследований и среднемноголетними значениями.

Исходным материалом служили шесть материнских форм: Линия ТХ-140, Линия ТХ-144, сорт Никола, Линия Б-3-1-8, Линия-4, Линия С-9464, и пять отцовских форм: Линия 19/0, Линия 19/3, Линия-2, Линия-9, сорт Иришка, обладающие генами устойчивости к болезням и вредителям (*Ph-3*, *I-2*, Cf-4, Cf-4A, *Cf-5*, *Tm-2/Tm-2*^{2}, *Mi-1.2*). Молекулярно-генетическая характеристика образцов представлена в ранее опубликованных материалах [19]. Путем скрещивания были созданы гибридные комбинации по схеме топкросса 6×5.

Изучаемые гибриды F_1, а также индетерминантный стандарт Старт F_1 и раннеспелый детерминантный стандарт Александр F_1 были высажены в 2012–2013 гг. в трехкратной повторности (по три растения на делянке) для оценки хозяйственно полезных признаков. Схема посадки – 70×30 см. Доза внесения удобрений – $N_{60}(P_2O_5)_{120}(K_2O)_{120}$. По результатам исследований были отобраны лучшие образцы, испытание которых продолжилось в 2014–2015 гг. Показатели адаптивной способности и экологической стабильности 15 наиболее урожайных гибридов рассчитывали на основании четырехлетних данных по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой[1] с помощью программы ADIS. Внедрение семян созданных и районированных гибридов F_1 в производство было организовано в 2018–2020 гг.

Результаты и их обсуждение. Анализ полученных результатов проводили с учетом комплекса характеристик гибридов и поставленной цели, поэтому в данных исследованиях приоритетным считали отбор высокопродуктивных образцов с высокой общей адаптивной способностью и стабильностью проявления признаков.

[1] Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Метод оценки адаптивной способности генотипов дифференцирующей способности среды: обоснование метода // Генетика. 1985. Т. 21, № 9. С. 1481–1498.

Национальная академия наук Беларуси

В настоящее время разработаны различные способы и модели оценки адаптивности и стабильности генотипов [1, 20–28]. Они отличаются по степени сложности вычислений и применяемым подходам. Предпочтение чаще отдают тем методам, которые дают большую информацию об исследуемых генотипах.

Используемый нами метод А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой основан на испытании генотипов в различных средах и позволяет выявлять общую адаптивную способность (OAC_i), относительную стабильность генотипов (S_{gi}), реакцию генотипа на среду (b_i), селекционную ценность генотипа (СЦГ$_i$) и вести отбор по адаптивной способности в зависимости от поставленной селекционной задачи.

Таблица 1. **Дисперсионный анализ изучаемых признаков гибридов F_1 томата**

Table 1. **Analysis of variance of the studied traits of tomato F_1 hybrids**

Компоненты дисперсии	Степени свободы	Средние квадраты			
		ранняя урожайность, кг/м^2	товарная урожайность, кг/м^2	общая урожайность, кг/м^2	масса плода, г
Среды (А)	3	75,40**	106,57**	105,89**	1337,00**
Генотипы (В)	16	4,64**	16,66**	18,31**	3646,96**
Взаимодействие генотип × среда (АВ)	48	1,72**	4,37**	4,13**	302,03**
Случайное	136	0,50	1,56	1,80	52,40

* Достоверно при $P \leqslant 0,05$; ** достоверно при $P \leqslant 0,01$.

Преимущество выбранного нами метода обработки данных подтверждается, например, исследованиями З. Ф. Сергеевой, которая установила, что его использование позволяет получить значительно больше информации о генотипах картофеля и средах по сравнению с методикой Эберхарта и Рассела [29].

Для установления существенности вкладов генотипов, сред и взаимодействия между ними в фенотипическую изменчивость признаков применяли двухфакторный дисперсионный анализ, который позволил выявить достоверные различия между генотипами и средами по всем изучаемым признакам на 1 и 5 % уровнях значимости (табл. 1).

В фенотипическую изменчивость ранней, товарной и общей урожайности в большей степени вносят вклад средовые эффекты (средние квадраты сред превосходят средние квадраты генотипов), а массы плода – генотипические эффекты (средние квадраты генотипов преобладают над средними квадратами сред).

Ранняя урожайность у лучших генотипов в среднем за 2012–2015 гг. колебалась от 1,18 до 3,40 кг/м^2 (табл. 2). Гибриды Никола × Линия 19/3, Никола × Линия-2, Никола × Линия-9, Линия-4 × Линия-2 характеризовались превышением над значением данного признака у раннеспелого детерминантного стандарта Александр F_1.

По величине ранней урожайности и общей адаптивной способности выделены семь гибридных комбинаций, две из которых (Никола × Линия-2, Линия-4 × Линия-2) – стабильные формы (b_i = 0,44–0,90), пять (Никола × Линия 19/3, Никола × Линия-9, Линия ТХ-144 × Иришка, Линия Б-3-1-8 × Линия 19/0, Линия С-9464 × Линия 19/0) – пластичные (b_i = 1,03–1,31) с положительной реакцией на улучшение условий среды. Эти же образцы обладали высокой селекционной ценностью генотипа.

По товарной урожайности гибридные комбинации Линия ТХ-140 × Линия 19/3 и Линия ТХ-140 × Линия-2 превышали стандарт Старт F_1 на 1,24 и 0,39 кг/м^2 (табл. 3). Данные образцы, а также гибриды Никола × Линия-2, Линия ТХ-144 × Линия-2, Линия ТХ-144 × Иришка, Линия Б-3-1-8 × Линия 19/0, Линия С-9464 × Линия 19/0 отличались высокой СЦГ$_i$ (6,46–8,82), причем комбинации скрещивания Линия ТХ-140 × Линия 19/3 и Линия С-9464 × Линия 19/0 были пластичными ($b_i \geqslant 1$), а остальные – стабильными ($b_i \leqslant 1$).

Подобная ситуация отмечалась и по общей урожайности. Значение признака изменялось от 12,78 до 15,15 кг/ м^2 (табл. 4). Выделены гибриды Линия ТХ-140 × Линия 19/3, Линия ТХ-140 × Линия-2, Линия Б-3-1-8 × Линия 19/0 с наибольшими значениями общей адаптивной способности как по товарной (g_i = 1,24–2,35), так и по общей (g_i = 1,05–2,57) урожайности.

Среднее значение генотипа X_i по массе плода варьировало от 52,66 до 116,28 г (табл. 5). Гибридные комбинации Никола × Линия 19/3, Линия ТХ-144 × Линия 19/3, Линия Б-3-1-8 × Линия 19/0 характеризовались высокими показателями общей адаптивной способности (15,52–25,09), селекционной ценностью генотипа (50,33–73,35) и являлись пластичными формами с коэффициентом регрессии от 1,09 до 2,58, т. е. масса плода у них увеличивалась при улучшении условий

Национальная академия наук Беларуси

Таблица 2. **Показатели адаптивной способности и стабильности гибридов F_1 томата по ранней урожайности**

Table 2. **Adaptive ability and stability indices of F_1 tomato hybrids according to early yield**

Образец	Среднее значение генотипа (X_i), кг/м^2	ОАС$_i$	Относительная стабильность (S_{gi})	Коэффициент регрессии (b_i)	Селекционная ценность генотипа (СЦГ$_i$)
Стандарт Старт F_1	1,82	–0,29	120,42	1,64	0,16
Стандарт Александр F_1	2,48	0,37	83,25	1,63	0,92
Никола×Линия 19/3	2,53	0,43	57,87	1,15	1,42
Никола×Линия-2	3,40	1,30	30,67	0,90	2,61
Никола×Линия-9	2,68	0,58	57,87	1,30	1,51
Линия ТХ-144×Линия-19/3	1,53	–0,58	46,84	0,65	0,98
Линия ТХ-144×Линия-2	1,84	–0,26	58,90	0,89	1,02
Линия ТХ-144×Иришка	2,28	0,18	59,15	1,03	1,26
Линия ТХ-140×Линия 19/3	1,37	–0,74	69,05	0,80	0,65
Линия ТХ-140×Линия-2	1,18	–0,93	79,83	0,78	0,47
Линия ТХ-140×Линия-9	1,81	–0,30	73,36	0,73	0,81
Линия Б-3-1-8×Линия 19/0	2,23	0,12	68,58	1,16	1,07
Линия Б-3-1-8×Линия-9	1,59	–0,51	87,57	0,77	0,54
Линия-4×Линия-2	3,17	1,06	35,58	0,44	2,31
Линия С-9464×Линия 19/0	2,36	0,25	66,23	1,31	1,18
Линия С-9464×Линия-9	1,50	–0,60	71,88	0,93	0,68
Линия С-9464×Иришка	2,03	–0,08	57,05	0,87	1,15

Таблица 3. **Показатели адаптивной способности и стабильности гибридов F_1 томата по товарной урожайности**

Table 3. **Adaptive ability and stability indices of F_1 tomato hybrids according to commercial yield**

Образец	Среднее значение генотипа (X_i), кг/м^2	ОАС$_i$	Относительная стабильность (S_{gi})	Коэффициент регрессии (b_i)	Селекционная ценность генотипа (СЦГ$_i$)
Стандарт Старт F_1	12,89	1,09	24,14	1,79	1,98
Стандарт Александр F_1	9,41	–2,39	17,80	1,22	3,54
Никола×Линия 19/3	11,93	0,13	14,31	1,20	5,94
Никола×Линия-2	12,14	0,34	10,96	0,58	7,48
Никола×Линия-9	11,07	–0,73	6,46	0,62	8,56
Линия ТХ-144×Линия-19/3	11,79	–0,01	12,54	1,03	6,61
Линия ТХ-144×Линия-2	12,03	0,23	10,70	0,98	7,52
Линия ТХ-144×Иришка	11,98	0,18	11,72	0,96	7,05
Линия ТХ-140×Линия 19/3	14,15	2,35	11,34	1,14	8,53
Линия ТХ-140×Линия-2	13,28	1,48	9,58	0,10	8,82
Линия ТХ-140×Линия-9	11,43	–0,37	19,40	1,50	3,65
Линия Б-3-1-8×Линия 19/0	13,04	1,24	12,27	0,77	7,43
Линия Б-3-1-8×Линия-9	11,75	–0,05	7,81	0,76	8,53
Линия-4×Линия-2	10,50	–1,30	20,21	0,65	3,06
Линия С-9464×Линия 19/0	12,03	0,23	13,19	1,16	6,46
Линия С-9464×Линия-9	11,07	–0,73	21,84	1,38	2,59
Линия С-9464×Иришка	10,11	–1,69	18,14	1,17	3,68

Национальная академия наук Беларуси

Таблица 4. **Показатели адаптивной способности и стабильности гибридов F_1 томата по общей урожайности**

Table 4. **Adaptive ability and stability indices of F_1 tomato hybrids according to gross yield**

Образец	Среднее значение генотипа (X_i), кг/м^2	ОАС$_i$	Относительная стабильность (S_{gi})	Коэффициент регрессии (b_i)	Селекционная ценность генотипа (СЦГ$_i$)
Стандарт Старт F_1	13,98	1,39	19,65	1,79	3,36
Стандарт Александр F_1	10,25	–2,33	15,31	1,14	4,19
Никола × Линия 19/3	12,60	0,02	14,58	1,25	5,50
Никола × Линия-2	12,83	0,25	12,18	0,90	6,79
Никола × Линия-9	11,51	–1,07	5,46	0,59	9,08
Линия ТХ-144 × Линия-19/3	12,47	–0,11	12,02	1,05	6,66
Линия ТХ-144 × Линия-2	12,99	0,41	11,12	1,10	7,41
Линия ТХ-144 × Иришка	12,98	0,40	9,95	0,80	7,99
Линия ТХ-140 × Линия 19/3	15,15	2,57	10,03	1,05	9,28
Линия ТХ-140 × Линия-2	14,05	1,47	6,30	–0,20	10,63
Линия ТХ-140 × Линия-9	11,99	–0,59	18,80	1,56	3,28
Линия Б-3-1-8 × Линия 19/0	13,63	1,05	11,77	0,86	7,43
Линия Б-3-1-8 × Линия-9	12,43	–0,15	4,43	0,60	10,30
Линия-4 × Линия-2	11,28	–1,31	19,91	0,79	2,60
Линия С-9464 × Линия 19/0	12,78	0,20	13,00	1,21	6,36
Линия С-9464 × Линия-9	12,20	–0,38	19,52	1,43	3,00
Линия С-9464 × Иришка	10,75	–1,83	15,91	1,08	4,14

Таблица 5. **Показатели адаптивной способности и стабильности гибридов F_1 томата по массе плода**

Table 5. **Adaptive ability and stability indices of F_1 tomato hybrids according to fruit weight**

Образец	Среднее значение генотипа (X_i), кг/м^2	ОАС$_i$	Относительная стабильность (S_{gi})	Коэффициент регрессии (b_i)	Селекционная ценность генотипа (СЦГ$_i$)
Стандарт Старт F_1	104,73	13,54	8,85	1,45	56,78
Стандарт Александр F_1	82,14	–9,06	16,65	2,41	11,41
Никола × Линия 19/3	106,72	15,52	10,19	1,83	50,47
Никола × Линия-2	77,77	–13,43	2,23	0,42	68,68
Никола × Линия-9	88,68	–2,52	3,43	–0,64	72,96
Линия ТХ-144 × Линия-19/3	113,73	22,53	6,87	1,09	73,35
Линия ТХ-144 × Линия-2	101,00	9,80	7,22	1,46	63,27
Линия ТХ-144 × Иришка	60,98	–30,22	6,60	0,46	40,18
Линия ТХ-140 × Линия 19/3	101,11	9,91	12,69	1,54	34,76
Линия ТХ-140 × Линия-2	99,73	8,53	16,91	3,23	12,53
Линия ТХ-140 × Линия-9	96,08	4,88	16,52	–2,38	13,98
Линия Б-3-1-8 × Линия 19/0	116,28	25,09	10,97	2,58	50,33
Линия Б-3-1-8 × Линия-9	96,36	5,16	8,84	–1,58	52,29
Линия-4 × Линия-2	84,17	–7,03	8,05	0,71	49,11
Линия С-9464 × Линия 19/0	74,98	–16,22	0,00	0,00	74,98
Линия С-9464 × Линия-9	93,27	2,07	18,66	3,20	3,28
Линия С-9464 × Иришка	52,66	–38,54	9,65	1,21	26,37

Национальная академия наук Беларуси

выращивания. Однако, учитывая результаты дисперсионного анализа изучаемых признаков, у большинства образцов фенотипическое проявление массы плода в большей степени зависит не от среды, а от генотипа.

По комплексу признаков (товарная и общая урожайность) гибриды Линия ТХ-140×Линия-2, Линия Б-3-1-8×Линия 19/0 характеризовались высокими значениями общей адаптивной способности в сочетании со стабильностью. Гибрид Линия Б-3-1-8×Линия 19/0 отличался стабильным проявлением признаков продуктивности (ранняя, товарная, общая урожайность, масса плода) независимо от условий выращивания. Гибрид Никола×Линия-2 обладал достаточно высокой ОАС и стабильностью по признакам ранней, товарной и общей урожайности.

По результатам исследований две гибридные комбинации переданы в Государственную инспекцию по испытанию и охране сортов растений при Министерстве сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь как высокоурожайные, с высокой селекционной ценностью. Они успешно прошли испытание и районированы с 2016 г. под названиями Азарт и Витязь. В период 2018–2020 гг. организовано семеноводство. В соответствии с актами о практическом использовании результатов исследований полученные семена внедрены в сельскохозяйственное производство и частный сектор Республики Беларусь на общую площадь 13 га.

Заключение. В ходе проведенных исследований установлено, что на фенотипическую изменчивость ранней, товарной и общей урожайности в большей степени влияют средовые эффекты, а массы плода – генотипические эффекты.

Наибольшей общей адаптивной способностью по признаку «ранняя урожайность» обладали следующие гибридные комбинации: Никола×Линия-2, Линия-4×Линия-2, Никола×Линия 19/3, Никола×Линия-9, Линия ТХ-144×Иришка, Линия Б-3-1-8×Линия, 19/0 Линия С-9464×Линия 19/0; «товарная урожайность» – Никола×Линия-2, ТХ-144×Линия-2, Линия ТХ-144×Иришка, ТХ-140×Линия-2, Линия ТХ-140×Линия 19/3, Линия Б-3-1-8×Линия 19/0, Линия С-9464×Линия 19/0; «масса товарного плода» – Никола×Линия 19/3, Линия ТХ-144×Линия 19/3, Линия Б-3-1-8×Линия 19/0.

Для гибридов Никола×Линия-2, Линия-4×Линия-2, ТХ-140×Линия-2, Линия Б-3-1-8×Линия 19/0, Линия ТХ-144×Иришка характерно стабильное проявление признаков урожайности ($b_i \leqslant 1$).

Две гибридные комбинации с 2016 г. районированы по республике под названиями Азарт и Витязь, что свидетельствует об их адаптивности к различным условиям выращивания. В период 2018–2020 гг. получены и внедрены в сельскохозяйственное производство и частный сектор Республики Беларусь семена на общую площадь 13 га.

Проведенные исследования подтверждают целесообразность оценки экологической стабильности и пластичности на конечном этапе селекции и уменьшают возможность ошибки при выборе гибридов для передачи в ГСИ.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственной программы «Инновационные биотехнологии» на 2010–2012 годы и на период до 2015 года», подпрограмма «Сельскохозяйственная биотехнология (растениеводство)» по заданию «Разработать технологию маркер-сопутствующей селекции томата для защищенного грунта и внедрить ее в сельскохозяйственные организации», а также МЦП ЕврАзЭС «Инновационные биотехнологии» на 2011–2015 годы, подпрограмма «Инновационные биотехнологии в Республике Беларусь» по заданию «Разработать методы маркер-сопутствующей селекции томата по генам качества плодов и устойчивости к болезням».

Список использованных источников

1. *Eberhart, S. A.* Stability parameters for comparing varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russell // Crop Science. – 1966. – Vol. 6, № 1. – P. 36–40. https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x

2. *Tai, G. C.* C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials / G. C. C. Tai // Crop Science. – 1971. – Vol. 11, № 2. – P. 184–190. https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183x0011000200

3. *Пакудин, В. З.* Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур / В. З. Пакудин, Л. М. Лопатина // С.-х. биология. – 1984. – № 4. – Р. 109–113.

Национальная академия наук Беларуси

4. *Пакудин, В. З.* Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов / В. З. Пакудин // Теория отбора в популяциях растений / отв. ред.: Л. В. Хотылева, З. С. Никоро, В. А. Драгавцев. – Новосибирск, 1976. – Гл. 16. – С. 178–189.

5. *Кильчевский, А. В.* Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск : Тэхналогія, 1997. – 372 с.

6. *Кильчевский, А. В.* Генотип и среда в селекции растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск : Наука и техника, 1989. – 191 с.

7. *Кильчевский, А. В.* Оценка взаимодействия генотипа и среды в адаптивной селекции растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева // Генетические основы селекции растений / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т генетики и цитологии ; ред.: А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск, 2008. – Т. 1 : Общая генетика растений. – С. 50–81.

8. *Bradshaw, A. D.* Evolutionary significance of phenotypic plasticity in Plants / A. D. Bradshaw // Advances in Genetics. – 1965. – Vol. 13. – P. 115–155. https://doi.org/10.1016/s0065-2660(08)60048-6

9. *Жученко, А. А.* Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбигенез, агробиогценоз) / А. А. Жученко. – Кишинев : Штиинца, 1980. – 586 с.

10. *Жученко, А. А.* Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика = Adaptive plant production (ecological & genetic backgrounds). Theory and practice : [в 3 т.] / А. А. Жученко. – М. : Агрорус, 2008. – Т. 1 : Проблемы адаптации в сельском хозяйстве XXI века. Значение адаптивного потенциала культурных видов растений. Стратегия адаптивной интенсификации растениеводства. – 814 с.

11. *Шмальгаузен, И. И.* Факторы эволюции (теория стабилизирующего отбора) / И. И. Шмальгаузен. – М. : Наука, 1968. – 451 с.

12. *Fakorede, M. A.* B. Selection of sites for preliminary maize yield trials in rainforest zone of south-western Nigeria / M. A. B. Fakorede // Euphytica. – 1986. – Vol. 35, № 2. – P. 441–447. https://doi.org/10.1007/bf00021852

13. *Brown, K. D.* A method for classification and evaluation of testing environments / K. D. Brown, M. E. Sorrells, W. R. Coffman // Crop Science. – 1983. – Vol. 23, № 5. – P. 889–893. https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183x002300050018x

14. *Fasoulas, A. C.* Rating cultivars and trials in applied plant breeding / A. C. Fasoulas // Euphytica. – 1963. – Vol. 32, № 3. – P. 939–943. https://doi.org/10.1007/bf00042176

15. *Синская, Е. Н.* Учение о популяциях и его значение в растениеводстве / Е. Н. Синская // Вестн. с.-х. науки. – 1958. – № 1. – С. 52–61.

16. *Пивоваров, В. Ф.* Экологические основы селекции и семеноводства овощных культур / В. Ф. Пивоваров, Е. Г. Добруцкая. – М. : ВНИИССОК, 2000. – 592 с.

17. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири / [В. А. Драгавцев и др.] ; отв. ред. Д. К. Беляев. – Новосибирск : Наука, 1984. – 230 с.

18. *Кильчевский, А. В.* Генетико-экологические основы селекции растений / А. В. Кильчевский // Информ. вестн. ВОГИС. – 2005. – Т. 9, № 4. – С. 518–526.

19. Молекулярные технологии в селекции томата (*Solanum lycopersicom* L.) / А. В. Кильчевский [и др.] // Генетические основы селекции растений / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т генетики и цитологии ; ред.: А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск, 2014. – Т. 4 : Биотехнология в селекции растений. Геномика и генетическая инженерия, гл. 11. – С. 290–345.

20. *Кильчевский, А. В.* Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение I. Обоснование метода / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева // Генетика. – 1985. – Т. 21, № 9. – С. 1481–1490.

21. *Хотылева, Л. В.* Взаимодействие генотипа и среды: методы оценки / Л. В. Хотылева, Л. А. Тарутина. – Минск : Наука и техника 1982. – 109 с.

22. *Gauch, H. G.* Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs / H. G. Gauch. – Amsterdam : Elsevier, 1992. – 278 p.

23. *Kang, M. S.* Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: consequences for growers / M. S. Kang // Agronomy J. – 1993. – Vol. 85, № 3. – P. 754–757. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030042x

24. *Cornelius, P. L.* Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction / P. L. Cornelius, J. Crossa, M. S. Seyedsadr // Genotype-by-environment interaction / ed.: M. S. Kang, H. G. Gauch. – Boca Raton, 1996. – P. 199–234. https://doi.org/10.1201/9781420049374.ch8

25. *Moreno-Gonzalez, J.* Combining genotype, environment and attribute variables in regression models for predicting cell means of multi-environment cultivar trials / J. Moreno-Gonzalez, J. Crossa // Theoretical a. Appl. Genetics. – 1998. – Vol. 96, № 6/7. – P. 803–811. https://doi.org/10.1007/s001220050806

26. *Yan, W.* GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomists / W. Yan, M. S. Kang. – Boca Raton : CRC Press, 2003. – 271 pp. https://doi.org/10.1201/9781420040371

27. *Rao, A. R.* Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability / A. R. Rao, V. T. Prabhakaran // J. of the Ind. Soc. of Agr. Statist. – 2005. – Vol. 59, № 1. – P. 76–82.

28. *Yan, W.* Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications / W. Yan, N. A. Tinker // Canad. J. of Plant Science. – 2006. – Vol. 86, № 3. – P. 623–645. https://doi.org/10.4141/p05-169

29. *Сергеева, З. Ф.* Оценка и подбор исходных форм для селекции фитофторо- и нематодоустойчивых сортов картофеля : автореф. дис. … канд. с.-х. наук : 06.01.05 / З. Ф. Сергеева ; Всерос. НИИ картоф. хоз-ва. – М., 1995. – 24 с.

Национальная академия наук Беларуси

References

1. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varietie. *Crop Science*, 1966, vol. 6, no. 1, pp. 36-40. https://doi.org/10.2135/ cropsci1966.0011183X000600010011x

2. Tai G.C.C. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop Science*, 1971, vol. 11, no. 2, pp. 184-190. https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183x0011000200

3. *Pakudin V.Z., Lopatina L.M. Assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crops. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*, 1984, no. 4, pp. 109-113 (in Russian).

4. Pakudin V.Z. Parameters of the assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crops. *Teoriya otbora v populyatsiyakh rastenii* [Selection theory in plant populations]. Novosibirsk, 1976, pp. 178-189 (in Russian).

5. Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. *Ecological plant breeding.* Minsk, Tekhnalogiya Publ., 1997. 372 p. (in Russian).

6. Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. *Genotype and environment in plant breeding.* Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1989. 191 p. (in Russian).

7. Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Assessment of the interaction of genotype and environment in adaptive plant breeding. *Geneticheskie osnovy selektsii rastenii. T. 1. Obshchaya genetika rastenii* [Genetic bases of plant breeding. Vol. 1. General plant genetics]. Minsk, 2008, pp. 50-81 (in Russian).

8. Bradshaw, A.D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances in Genetics*, 1965, vol. 13, pp. 115-155. https://doi.org/10.1016/s0065-2660(08)60048-6

9. Zhuchenko A.A. *Ecological genetics of cultivated plants (adaptation, recombigenesis, agrobiogenosis).* Chisinau, Shtiintsa Publ., 1980. 586 p. (in Russian).

10. Zhuchenko A.A. *Adaptive plant production (ecological & genetic backgrounds). Theory and practice. Vol. 1.* Moscow, Agrorus Publ., 2008. 814 p. (in Russian).

11. Shmal'gauzen I.I. *The factors of evolution (a stabilizing selection theory).* Moscow, Nauka Publ., 1968. 451 p. (in Russian).

12. Fakorede M.A.B. Selection of sites for preliminary maize yield trials in rainforest zone of south-western Nigeria. *Euphytica*, 1986, vol. 35, no. 2, pp. 441-447. https://doi.org/10.1007/bf00021852

13. Brown K.D., Sorrells M.E., Coffman W.R. A method for classification and evaluation of testing environments. Crop Science, 1983, vol. 23, no. 5, pp. 889-893. https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183x002300050018x

14. Fasoulas A.C. Rating cultivars and trials in applied plant breeding. *Euphytica*, 1963, vol. 32, no. 3, pp. 939-943. https://doi.org/10.1007/bf00042176

15. Sinskaya E.N. Teaching on populations and its importance in plant growing. *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* [Bulletin of Agricultural Sciences], 1958, no. 1, pp. 52-61 (in Russian).

16. Pivovarov V.F., Dobrutskaya E.G. *Ecological bases of selection and seed production of vegetable crops.* Moscow, All-Russian Research Institute for Selection and Seed Production of Vegetable Crops, 2000. 592 p. (in Russian).

17. Belyaev D.K. (ed.). *Genetics of productivity traits of spring wheat in Western Siberia.* Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 230 p. (in Russian).

18. Kilchevsky A.V. Genetic and ecological bases of plant breeding. *Informatsionnyi vestnik VOGIS* [Information Bulletin VOGIS], 2005, vol. 9, no. 4, pp. 518-526 (in Russian).

19. Kilchevsky A.V., Babak O.G., Nekrashevich N.A., Adzhieva V.F., Malyshev S.V., Grushetskaya Z.F., Mishin L.A., Dobrod'kin M.M., Zaitseva I.E., Pugacheva I.G. Molecular technologies in tomato breeding (Solanum lycopersicom L.]. *Geneticheskie osnovy selektsii rastenii. T. 4. Biotekhnologiya v selektsii rastenii. Genomika i geneticheskaya inzheneriya* [Genetic bases of plant breeding. Vol. 4. Biotechnology in plant breeding. Genomics and genetic engineering]. Minsk, 2014, pp. 290-345 (in Russian).

20. Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. A method for estimation of genotypes adaptive ability and stability, of environment's differentiative ability. I. Grounds of the metod. *Genetika = Russian Journal of Genetics*, 1985, vol. 21, no. 9, pp. 1481-1490 (in Russian).

21. Khotyleva L.V., Tarutina L.A. *Interaction of genotype and environment: assessment methods*. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 109 p. (in Russian).

22. Gauch H.G. *Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs*. Amsterdam, Elsevier, 1992. 278 p.

23. Kang M.S. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: consequences for growers. *Agronomy Journal*, 1993, vol. 85, no. 3, pp. 754-757. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500030042x

24. Cornelius P.L., Crossa J., Seyedsadr M.S. Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. *Genotype-by-environment interaction*. Boca Raton, 1996, pp. 199-234. https://doi.org/10.1201/9781420049374.ch8

25. Moreno-Gonzalez J., Crossa J. Combining genotype, environment and attribute variables in regression models for predicting cell means of multi-environment cultivar trials. *Theoretical and Applied Genetics*, 1998, vol. 96, no. 6/7, pp. 803-811. https://doi.org/10.1007/s001220050806

26. Yan W., Kang M.S. *GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists and agronomist*s. Boca Raton, CRC Press, 2003. 271 pp. https://doi.org/10.1201/9781420040371

27. Rao A.R., Prabhakaran V.T. Use of AMMI in simultaneous selection of genotypes for yield and stability. *Journal of the Indian Society of Agricultural Statistics*, 2005, vol. 59, no. 1, pp. 76-82.

28. Yan W., Tinker N.A. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 2006, vol. 86, no. 3, pp. 623-645. https://doi.org/10.4141/p05-169

29. Sergeeva Z.F. *Evaluation and selection of initial forms for breeding late blight and nematode resistant potato varieties.* Abstract of Ph.D. diss. Moscow, 1995. 24 p. (in Russian).

Национальная академия наук Беларуси

Информация об авторах

Баева Ирина Евгеньевна – зав. учебно-научно-исследовательской генетической лабораторией, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407 г. Горки, Республика Беларусь). E-mail: irynabayeva27@mail.ru. http://orcid.org/0000-0003-1933-5591

Пугачева Ирина Геннадьевна – кандидат с.-х. наук, доцент кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407 г. Горки, Республика Беларусь). E-mail: puhachova.irina@gmail.com. http://orcid.org/0000-0001-8329-7468

Добродькин Михаил Михайлович – кандидат с.-х. наук, зав. кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии, Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (ул. Мичурина, 5, 213407 г. Горки, Республика Беларусь). E-mail: dobro_1962@mail.ru

Кильчевский Александр Владимирович – академик НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, научной руководитель лаборатории экологической генетики и биотехнологии, Института генетики и цитологии НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072 г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kilchev@presidium.bas-net.by. http://orcid.org/0000-0002-0175-9786

Information about authors

Iryna E. Bayeva - Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina Str., Gorki 213407, Republic of Belarus). E-mail: irynabayeva27@mail.ru. http://orcid.org/0000-0003-1933-5591

Iryna G. Puhachova - Ph.D. (Biological), Assistant Professor. Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina Str., Gorki 213407, Republic of Belarus). E-mail: puhachova.irina@gmail.com. http://orcid.org/0000-0001-8329-7468

Mikhail M. Dabrodzkin - Ph.D. (Biological). Belarusian State Agricultural Academy (5 Michurina Str., Gorki 213407, Republic of Belarus). E-mail: dobro_1962@mail.ru

Alexander V. Kilchevsky - Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Biological), Professor. The Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., Minsk 220072, Republic of Belarus). E-mail: kilchev@presidium.bas-net.by. http://orcid.org/0000-0002-0175-9786

Национальная академия наук Беларуси