

УДК 635.64:631.527.5:631.589.2



АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ СЕЛЕКЦИИ ТОМАТА С *d*-ГЕНАМИ ДЛЯ МНОГОЯРУСНОЙ УЗКОСТЕЛЛАЖНОЙ ГИДРОПОНИКИ

Балашова И.Т. – доктор биол. наук,
зав. лабораторией новых технологий и цветоводства

Сирота С.М. – доктор с.-х. наук, зам. директора

Козарь Е.Г. – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаб.
новых технологий и цветоводства

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур» (ФГБНУ ВНИИССОК)
143080, Россия, Московская обл.,
Одинцовский р-н, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14
E-mail: vniissok@mail.ru

Использование селекции по спорофиту позволило в 3 раза ускорить процесс отбора новых форм томата с *d*-генами для многоярусной узкостеллажной гидропонии. В статье проводится анализ эффективности двух селекционных подходов: индивидуальный отбор из сортопопуляций и целевой гибридизации. Показано, что в результате целевой гибридизации в 2 раза увеличиваются продуктивность и масса 1 плода.

Ключевые слова: томат, *d*-гены, многоярусная стеллажная гидропоника, селекция

Введение

Селекция новых форм томата с *d*-генами была начата в лаборатории гаметной селекции ВНИИССОК в 2010 году рамках программы НИР по разработке и внедрению технологий гаметного отбора в селекционный процесс. Известно, что высшим растениям присуще гетерофазное чередование поколений, которое подразумевает существование бесполого поколения – диплофазы (спорофита), берущего начало от зиготы до наступления мейоза в спороцитах, и полового поколения – гаплофазы

(гаметофита) (Гуляев Г.В., Мальченко В.В., 1975). Это разделение обусловило существенные адаптивные преимущества высших растений в процессе эволюции. Именно принцип гетерофазного чередования поколений был положен в основу технологий гаметного отбора. Отбор по микрогаметофиту с 1988 года широко используется в селекции адаптивных форм сельскохозяйственных растений (Кравченко А.Н. и др., 1988; Балашова Н.Н. и др., 1994; Frova et al., 1995; Лях В.А., Сорока А.И., 1995; Агафонов А.Ф., Шмыкова Н.А., 1997; Чумакова и

др., 1997; Степанов В.А. и др., 2000; Жученко А.А., 2001; Пугачёва И.Г., 2002; Пивоваров В.Ф., 2008; Маковой М.Д., Игнатова С.И., 2010; Kravchenko A.N. et al., 2011). Отбор по спорофиту в практической селекции пока применяется мало. Мы использовали данную технологию при селекции низкорослых форм томата для многоярусной узкостеллажной гидропонии (МУГ). Основные стратегии селекции, направленные на получение новых сортов и гибридов томата для многоярусной узкостеллажной гидропонии, включали:

1. Индивидуальный отбор крупноплодных и высокопродуктивных растений из низкорослых сортопопуляций.

2. Гибридизацию.

1. Индивидуальный отбор из низкорослых сортопопуляций осуществлялся, исходя из того, что низкорослость у томата жёстко контролируется семейством генов *d*, которые локализованы в длинном плече хромосомы 2 (Жученко А.А., Балашова Н.Н. и др., 1988; Tanksley S.M., Mutschler M.A., 1989). Степень выраженности признака, по данным некоторых авторов, зависит от условий окружающей среды, но все гены данного семейства в условиях защищённого грунта проявляются **на ранней стадии развития растения** в порядке $d_{x1} > d_{x2} > d_{cr} > d_{py} > d_{+}$ (Бочарникова Н.И., 2011). Это позволяет вести индивидуальный **отбор низкорослых растений** из сортопопуляций по **спорофиту** – на рассаде до цветения, что существенно – **в 3 раза ускоряет селекционный процесс**. С 2010 по

2012 год из 2518 образцов мы отобрали 57 низкорослых форм, из них по продуктивности было выделено 3 формы – 1 среднеплодная и 2 мелкоплодных - для анализа в условиях МУГ (Сирота С.М., Балашова И.Т. и др., 2014).

2. Гибридизация. Получение **карликовых гибридов**, сочетающих низкорослость, скороспелость и высокую продуктивность, затруднено. Это связано с рядом негативных характеристик *d*-генов, основная из которых – рецессивность. Признак, контролируемый ими, строго «менделирует» (3:1) и проявляется в потомстве F_2 только у четвертой части особей. Опираясь на результаты пребридинга (Балашова И.Т. и др., 2011; Балашова И.Т. и др., 2012; Пивоваров В.Ф., Балашова И.Т. и др., 2013), в 2010-2011гг. мы провели **целевую** гибридизацию томата с *d*-генами, получили гибриды F_1 (2012 год) и F_2 (2013 год). Из низкорослых особей поколения F_2 в 2013 году отобрали наиболее крупноплодные и продуктивные, от которых были получены семена.

Цель настоящих исследований: **выбор наиболее эффективной стратегии селекции на основе анализа основных характеристик продуктивности поколения F_3 .**

Задачи исследований включали:

1. Оценку продуктивности экспериментального материала по сравнению с низкорослым стандартом – с. Комнатный.

2. Оценку степени проявления признака «средняя масса 1 плода» у экспериментального материала по сравнению с низкорослым стандартом – с. Комнатный.

Материал и методы исследований

Экспериментальный материал: 2 перспективных формы – отборы из сортопопуляций – **F_3 Отбор К-1 и F_2 Отбор Ч/о**, 3 перспективных гибридных формы поколения F_3 и 4 коллекционных формы (к.о. №№ 405, 406, 407, 408). В качестве стандарта была

1. Изменение продуктивности низкорослых форм томата в результате отбора из сортопопуляций и гибридизации с использованием крупноплодной (гибрид №1) и мелкоплодной (гибрид №2) материнских форм, ВНИИССОК, 2014, II оборот

Генотипы, А	Условия, В	Средняя продуктивность, г					Σу, г	, г	Отклонение от St
		I	II	III	IV	V			
Комнатный St	Снаружи	170	155	165	265	180	935	187	St
	Внутри	185	160	150	205	200	900	180	St
F_3 Отбор К-1	Снаружи	307	384	247	256	243	1437	287	+100
	Внутри	382	257	253	276	245	1413	283	+103
F_2 Отбор Ч/о	Снаружи	426	287	287	273	242	1515	303	+116
	Внутри	306	376	310	188	247	1427	285	+105
F_3 Гибрид №1	Снаружи	423	437	320	300	353	1833	367	+180
	Внутри	590	416	231	281	290	1808	362	+182
F_3 Гибрид №2	Снаружи	407	351	273	274	272	1577	315	+128
	Внутри	352	292	282	247	225	1398	280	+100
К.о. № 405	Снаружи	139	135	175	216	262	927	185	- 2
	Внутри	288	173	160	131	140	892	178	- 2
К.о. № 406	Снаружи	354	564	573	626	503	2620	524	+337
	Внутри	744	746	499	598	607	3194	639	+459
Σр		5073	4733	3925	4136	4009	21876	НСР ₀₅	54

$N = I_A \times I_B \times n = 7 \times 2 \times 5 = 70;$

$C_y = 8\ 230\ 066 - 6\ 836\ 563 = 1\ 393\ 503$

$C_v = 39\ 868\ 432 : 5 - 6\ 836\ 563 = 1\ 137\ 123,$

$C = (21\ 876)^2 : 70 = 6\ 836\ 563$

$C_p = 96\ 720\ 820 : 14 - 6\ 836\ 563 = 72\ 067,$

$C_z = C_y - C_p - C_v = 184\ 313$

Таблица сумм для определения эффектов А, В и взаимодействия АВ

Фактор А - генотип	Фактор В - условия		Σа
	Снаружи МУГ	Внутри МУГ	
Комнатный - St	935	900	1835
Отбор К-1	1437	1413	2850
Отбор Ч/о	1515	1427	2942
Гибрид №1	1833	1808	3641
Гибрид №2	1577	1398	2975
К.о. № 405	927	892	1819
К.о. № 406	2620	3194	5814
Σв	10 844	11 032	21 876

$$C_A = 7\,936\,395 - 6\,836\,563 = 1\,099\,832, C_B = 6\,837\,067 - 6\,836\,563 = 504,$$

$$C_{AB} = C_v - C_A - C_B = 36\,787$$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсии	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F05
Общая	1 393 503	69	-	-	-
Повторений	72 067	4	-	-	-
Генотипов, А	1 099 832	6	183 305,33	51,72	2,29
Условий, В	504	1	504	0,14	4,03
Взаимодействия, АВ	36 787	6	6 131,17	1,73	2,29
Остаток	184 313	52	3 544,48	-	-

использована исходная низкорослая сортопопуляция Комнатный. Число растений каждой формы – 30 штук.

Методы исследования:

- 1) морфологическое описание растений
- 2) биометрия основных параметров растений
- 3) весовой метод
- 4) двухфакторный дисперсионный анализ результатов измерений (Доспехов Б.А., 1985).

Исследования проводили в рассадном отделении, а затем на установке МУГ в теплице с поликарбонатным типом покрытия французской фирмы «Ришель» во II обороте. Повторность опытов – 5-и крат-

ная.

Результаты исследований и их обсуждение

На стадии спорофита были отбракованы как высокорослые – 2 коллекционные формы (к.о. №№ 407 и 408) и 1 гибрид. Отобранные 6 образцов были выставлены на установку МУГ и оценены по исследуемым параметрам с помощью 2-х факторного дисперсионного комплекса: оценивали влияние генотипа и условий культивации (с наружной и внутренней стороны установки МУГ) на продуктивность растений (табл.1).

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о том, что

только генотипы оказывают существенное влияние на формирование продуктивности у растений. Поэтому оценку существенности частных различий и определение НСР₀₅ проводили для фактора А – «генотипы»:

$$S_{dA} = 26,63;$$

$$НСР_{05} = 2,01 \times 26,63 = 53,53 \gg 54.$$

Анализируя результаты эксперимента, представленные в таблице №1, считаем необходимым отметить: обе селекционные программы принесли свои плоды. Как в результате отбора из популяций, так и в результате гибридизации произошло существенное повышение продуктивности растений. Но если в результате индивидуального

2. Изменение характеристики «средняя масса» плода у низкорослых форм томата в результате отбора из сортопопуляций и гибридизации с использованием крупноплодной (гибрид №1) и мелкоплодной (гибрид №2) материнских форм. ВНИИССОК, 2014, II оборот

Генотипы, А	Условия, В	Средняя масса 1 плода, г					Σv, г	, г	Отклонение от St
		I	II	III	IV	V			
Комнатный St	Снаружи	7	9	6	8	7	37	7,4	St
	Внутри	10	8	9	6	7	40	8,0	St
F3 Отбор К-1	Снаружи	9	10	10	9	7	45	9,0	+1,6
	Внутри	12	10	11	10	11	54	10,8	+2,8
F2 Отбор Ч/о	Снаружи	9	8	7	9	7	40	8,0	+0,6
	Внутри	8	8	9	8	8	41	8,2	+0,2
F3 Гибрид №1	Снаружи	17	16	14	15	13	75	15,0	+7,6
	Внутри	24	14	16	14	18	86	17,2	+9,2
F3 Гибрид №2	Снаружи	10	9	8	8	8	43	8,6	+1,2
	Внутри	8	8	11	10	10	47	9,4	+1,4
К.о. № 405	Снаружи	4	6	11	11	6	38	7,6	+0,2
	Внутри	7	8	8	8	4	35	7,0	-1,0
К.о. № 406	Снаружи	25	30	22	28	22	127	25,4	+18,0
	Внутри	32	41	49	35	31	188	37,6	+29,6
Σp		182	185	191	179	159	896	HCP ₀₅	2,2

$$N = I_A \times I_B \times n = 7 \times 2 \times 5 = 70;$$

$$C_y = 16\ 838 - 11\ 469 = 5\ 369$$

$$C_v = 82\ 412 : 5 - 11\ 469 = 5\ 013,$$

$$C = 802\ 816 : 70 = 11\ 469$$

$$C_p = 161\ 152 : 14 - 11\ 469 = 42,$$

$$C_z = C_y - C_p - C_v = 314$$

Таблица сумм для определения эффектов А, В и взаимодействия АВ

Фактор А - генотип	Фактор В - условия		ΣA
	Снаружи МУГ	Внутри МУГ	
Комнатный - St	37	40	77
Отбор К-1	45	54	99
Отбор Ч/о	40	41	81
Гибрид №1	75	86	161
Гибрид №2	43	47	90
К.о. № 405	38	35	73
К.о. № 406	127	188	315
ΣB	405	491	896

$$C_A = 16\ 087 - 11\ 469 = 4\ 618,$$

$$C_B = 11\ 574 - 11\ 469 = 105,$$

$$C_{AB} = C_v - C_A - C_B = 290$$

Результаты дисперсионного анализа

Дисперсии	Суммы квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	Fф	F ₀₅
Общая	5 369	69	-	-	-
Повторений	42	4	-	-	-
Генотипов, А	4 618	6	769,67	127,43	2,29
Условий, В	105	1	105	17,38	4,03
Взаимодействия, АВ	270	6	48,33	8,00	2,29
Остаток	314	52	6,04	-	-

$$HCP_{05} = 2,01 \times 1,1 = 2,2$$



Рис. 1. Перспективный отбор из сортопопуляции К-1.

отбора продуктивность увеличилась в 1,5 раза, то в результате гибридизации она выросла в 1,96 раза, т.е. практически в 2 раза. И это ещё раз подтвердило эффективность гибридизации как селекционного приёма. Однако оставался вопрос: «За счёт чего происхо-

дит повышение продуктивности растений в одном и в другом случае?» На данный вопрос мы получили ответ во второй части эксперимента - при изучении изменений средней массы 1 плода в результате отбора и гибридизации (табл.2).

Анализ результирующей таблицы показывает, что в отличие от



Рис. 2. Перспективный гибрид №1, низкорослый, превосходящий отцовскую форму по средней массе 1 плода и продуктивности в 2 раза.

комплексного показателя «продуктивность» на среднюю массу плода влияют условия культивации – на внутренней части установки плоды существенно крупнее. Простой отбор из популяции не увеличивает массу плода. Ранее отмеченное повышение продуктивности (табл.1), вероятно, происходит за счёт возрастания количества плодов на растении.

Заключение

Для получения низкорослых и высокопродуктивных форм томата с целью эксплуатации их на установке МУГ **целевая гибридизация эффективной отбора из популяций**. В результате целевой гибридизации, практически в 2 раза повысившей массу плода, продуктивность растений также возросла в 2 раза, но только лишь в том слу-

чае, если в качестве материнской формы использовался крупноплодный образец (**гибрид №1**). Если же в качестве материнской формы использовался мелкоплодный образец (гибрид №2), то повышения средней массы плода не наблюдается, и повышение продуктивности, вероятно, происходит результате повышения числа плодов на растении. Такой результат удовлетворить нас не может, так как для культивации в условиях МУГ желательнее было бы получить крупноплодный образец. Поэтому в качестве перспективных форм из сортопопуляций был отобран образец **К-1** (рис.1), из гибридов – **гибрид №1** (рис.2), из коллекции – низкорослый и крупноплодный образец **№ 406**.

ANALYSIS OF THE STRATEGY OF BREEDING OF TOMATO WITH D-GENES FOR MULTILEVEL NARROW-SHELVE HYDROPONIC SYSTEM

Balashova I. T., Sirota S. M.,
Kozar E. G.

Federal State Budgetary Scientific Research Institution "All-Russian Scientific Research Institute of vegetable breeding and seed production" 143080, Russia, Moscow region, Odintsovo district, p. VNISSOK, Selectionnaya street, 14
E-mail: balashova56@mail.ru

Abstract

Using the sporophyte selection accelerates in three times the breeding process of new tomato forms with d-genes for the multilevel narrow-shelve hydroponic technology. Analysis two breeding approaches is presented in this paper: the individual selection of recombinant forms from populations and the target hybridization. The target hybridization increases the productivity of the plant and the weight of one fruit in two times.

Keywords: tomato, breeding, hybridization, multilevel narrow-shelve hydroponic technology.

Литература

1. Жученко А.А. Роль репродуктивного направления в селекции культурных растений. – Методические указания по гаметной селекции сельскохозяйственных растений (методология, результаты, перспективы). – 2001. – С. 7-46.
2. Агафонов А.Ф., Шмыкова Н.А. Использование мужского гаметофита в селекции лука репчатого на устойчивость к бактериозу. – Методические указания по селекции луковых культур. – Москва: ВНИИССОК. – 1997. – С.28-31.
3. Балашова Н.Н., Валеева З.Т., Игнатов А.Н., Сулова Л.В., Уцаповский И.В., Жученко А.А. (мл.), Даус В.В. – К вопросу о роли микрогаметофита в адаптации растений к эконизищу возделывания. – Сельскохозяйственная биология. – 1994. - №3. – С.59-64.
4. Балашова И.Т., Пинчук Е.В., Козарь Е.Г., Урсул Н.А., Сирота С.М. Пребридинговые исследования образцов из коллекции маркерных мутантов томата с целью создания форм для узкостеллажной гидропоники. – Материалы Международной заочной научно-практической конференции, посвящённой 130-летию С.И. Жегалова. – Москва: ВНИИССОК. – 2011. – Вып.44. –С. 15-23.
5. Балашова И.Т., Сирота С.М., Козарь Е.Г., Пинчук Е.В. Отбор материнских форм и анализ наследуемости признака «высота растений» у томата в рамках программы ВНИИССОК по узкостеллажной гидропонике. – Сборник Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в селекции и семеноводстве овощных культур. Традиции и перспективы». – Москва: ВНИИССОК. – 8-9 августа, 2012. – С.132-142.
6. Бочарникова Н.И. Генетическая коллекция мутантных форм томата и её использование в селекционно-генетических исследованиях. – Москва: ВНИИССОК. – 2011. – 120с. – Илл.
7. Гуляев Г.В., Мальченко В.В. Словарь терминов по генетике, цитологии, селекции, семеноводству и семеноведению – Москва: Россельхозиздат. – 1975. –С.130.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – Москва: Агропромиздат. – 1985. – 351с. – Илл.
9. Жученко А.А., Балашова Н.Н., Король А.Б., Самовол А.П., Грати В.Г., Кравченко А.Н., Добрянский В.А., Смирнов В.А., Бочарникова Н.И. Эколого-генетические основы селекции томатов. – Кишинёв: Штиинца. – 1988. – С. 144-149.
10. Кравченко А.Н., Лях В.А., Тодераш Л.Г. и др. Методы гаметной и

- зиготной селекции томатов. – Кишинёв: Штиинца. – 1988. – 152с. – Илл.
11. Лях В.А., Сорока А.И. – Эффективность микрогаметофитного отбора на устойчивость кукурузы к температурному фактору. – Сельскохозяйственная биология. – 1995. - №3. – С.38-44.
12. Маковой М.Д., Игнатова С.И. Характер проявления адаптивности по признакам мужского гаметофита томата к температурному стрессу при выращивании растений в разные годы. – В сб.: Современные тенденции в селекции и семеноводстве овощных культур. Традиции и перспективы. – Материалы II Международной научно-практической конференции. Москва: ВНИИССОК. - 2010.– Т.1.– С. 391-401.
13. Пивоваров В.Ф. Современные тенденции в селекции овощных культур. – В сб.: Современные тенденции в селекции и семеноводстве овощных культур. Традиции и перспективы. – Материалы I Международной научно-практической конференции. Москва: ВНИИССОК. - 2008. – Т.1.– С. 38-49.
14. Пивоваров В.Ф., Балашова И.Т., Сирота С.М., Козарь Е.Г., Пинчук Е.В. Усовершенствование селекции по спорофиту с целью ускорения отбора форм томата для многоярусной узкостеллажной гидропоники. – Сельскохозяйственная биология. – 2013. - №1. – С.95-101.
15. Пугачёва И.В. Совершенствование гаметной селекции томата на холодостойкость. – Автореф. дисс....канд. с. –х. наук. 06.01.05. – Горки. –2002. –27с. – Илл.
16. Сирота С.М., Балашова И.Т., Козарь Е.Г., Митрофанова О.А., Аутко А.А., Долбик М.А. Первые результаты селекции сортов и гибридов томата для многоярусной узкостеллажной гидропоники. – Теплицы России. – 2014. - №3. – С.58-62.
17. Степанов В.А., Бунин М.С., Балашова Н.Н. Методические указания по селекции репы японской на холодостойкость с использованием микрогаметофита. – Москва: ВНИИССОК. – 2000. – 43с. – Илл.
18. Frova C., Potaluppi P., Villa M. et al. Sporophytic and gametophytic components of thermotolerance effected by pollen selection. - Journal of Heredity.- 1995.-Bd.86.-#1.-P.50-54.
19. Kravchenko A.N., Antoci L.P., Climenco O.A. Gametophytic selection of tomato genotypes with general and specific adaptive ability. – In: Book of Abstracts XVII EUCARPIA Meeting, Section Vegetables, Working Group Tomato. – Malaga, Spain. – 2011. – P. 36.
20. Tanksley S.D., Mutschler M.A. Linkage map of the tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). – Genetic maps. – 1989. – P. 6.3-6.15.