

УДК 635.64:631.522

В. Н. Кавцевич¹, А. В. Деревинский²¹Кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры общей биологии и ботаники, БГПУ им. М. Танка, г. Минск, Республика Беларусь²Заведующий кафедрой общей биологии и ботаники, БГПУ им. М. Танка, г. Минск, Республика Беларусь**ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ ПРОДУКТИВНОСТИ И БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ У ГИБРИДОВ F₁, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ КИСТЕВИДНЫХ ФОРМ ТОМАТА**

Гибриды томата первого поколения, полученные с участием кистевидных форм, были оценены по признакам, характеризующим продуктивность растений и биохимический состав плодов. Установлено, что комбинации скрещивания отличались между собой, среди них выделены лучшие по признакам масса плодов с растения, средняя масса плода, содержание сухих веществ, моно- и дисахаридов, каротиноидов и аскорбиновой кислоты. Отмечены перспективные линии L8 и L90, с участием которых было получено от 30 до 50% гибридов с лучшими характеристиками. Установлены высокие и положительные взаимосвязи между признаками средняя масса плода и масса плодов одного растения ($r = 0,87$), между содержанием сухих веществ, с одной стороны, и количеством моносахаридов (0,93), дисахаридов (0,87) и аскорбиновой кислоты (0,81), с другой, что делает благоприятный прогноз на комплексное улучшение данных признаков при отборе.

Ключевые слова: гибриды, продуктивность, каротин, аскорбиновая кислота, сухие вещества, сахара.

Введение

Широкое использование плодов томата в питании человека объясняется их высокими пищевыми, вкусовыми, витаминными и диетическими свойствами, связанными с химическим составом. По данным ФАО, томат занимает первое место среди овощных культур (4 млн га), в том числе в защищенном грунте 60% всех площадей. Основными производителями томата являются Китай, Индия, Турция, Египет и другие страны [1].

Одним из важнейших показателей качества плодов томата является содержание в них сухих веществ, т. е. всех имеющихся в плодах органических и неорганических веществ, за исключением воды. Его количество находится в пределах 2,5–8%. Плоды с повышенной концентрацией сухих веществ, как правило, имеют хорошие вкусовые качества, дают больший выход продукции при переработке, обладают лучшей транспортабельностью и лежкостью при хранении. В плодах томата содержится сумма сахаров (1,5–5%), представленных преимущественно глюкозой, фруктозой и сахарозой. Среди органических кислот преобладает яблочная (0,9 г/100 г). Пищевая ценность также определяется содержанием витаминов, среди которых основными в плодах томата являются витамин С (15–90 мг/100 г), бета-каротин (провитамин А) (1,6–2 мг/100 г), а также обнаруженный в последнее время ликопин, обладающий мощнейшими антиоксидантными свойствами. Помимо этого, в плодах томата содержатся заменимые и незаменимые белки, макро- и микроэлементы [2]–[4].

Высокий спрос на томатную продукцию привел к созданию большого разнообразия сортов и гибридов томата. Особого внимания заслуживают гибриды томата, у которых плоды собираются не поштучно, а срезаются целыми веточками (кистями), отсюда и название – кистевые (кистевидные, кластерные). Кистевые формы томата были созданы голландскими селекционерами в 1992–1993 гг. в целях экономии ручного труда, помимо этого, плоды обладают еще целым рядом достоинств – прочно держатся на кисти, не перезревая и не осыпаясь, имеют привлекательные форму и цвет, высокие вкусовые качества [5].

Кистевые гибриды имеют специфический геном, в составе которого обязательным является наличие гена «*rip*» *rip*, *por* и *porA* в гетерозиготном состоянии, замедляющего созревание плодов. Благодаря этому гену, первые плоды у основания кисти не перезревают, не размягчаются и не осыпаются к моменту покраснения плодов в верхней части [2]. Ген «*rip*» также обеспечивает длительное (в течение месяца при комнатных условиях) хранение спелых плодов на кисти без потери их вкусовых и товарных качеств. Существуют маркерные признаки, по которым можно

отличить «кистевые» томаты от «псевдокистевых» с недостаточно лежкими и осыпающимися плодами – это наличие прилистника в пазухе соцветия или формирование на соцветии, вместо первого цветка, листочка [3].

Увеличение содержания каротиноидов (желтых пигментов) в плодах обусловлено их физиологически активным действием в организме человека. Практическое использование каротиноидов основывается на биологической связи с витамином А, в который они превращаются в организме человека. При недостатке витамина А нарушаются обменные процессы, функции нервной системы, ухудшается зрение, снижается сопротивляемость организма различным инфекциям. Считается, что в томатах каротин находится в наиболее активной форме – β -каротин, 1 мг которого по эффективности соответствует 0,17 мг витамина А. В настоящее время идентифицировано порядка 20–35 генов, контролирующих вкус, консистенцию и другие показатели качества плодов, среди них шесть – at, B, to-B, r, t, y – отвечающих непосредственно за окраску ее спектр и интенсивность, например, в красных плодах содержится в среднем 1,2, а в оранжевых – 1,45 мг% каротина [6], [7].

Особое внимание в селекции томата уделяется выведению гибридов с высоким содержанием аскорбиновой кислоты (витамин С), который участвует практически во всех окислительно-восстановительных реакциях, активирует пищеварительные ферменты, укрепляет кровеносные сосуды, обеспечивает нормальный гематологический и иммунологический статус организма, повышая его устойчивость к инфекциям и стрессу. Известны гены (B, DG, HP, GS и ALC), влияющие на содержание аскорбиновой кислоты в плодах томатов [7], [8].

Биохимические показатели плодов у разных форм томата зависят от многих факторов и прежде всего от генотипа данной формы [9], [10]. Задача селекционера заключается в том, чтобы выделить такие формы среди большого разнообразия и включить их в селекционные программы.

Селекцию кистевых томатов успешно ведут многие зарубежные фирмы, в том числе и российские. Продукция зарубежных производителей поступает на рынок Республики Беларусь, пользуется спросом у населения. Ввиду отсутствия кистевых форм томата белорусской селекции, возникла необходимость разработать селекционно-генетические подходы для создания продуктивных гибридов кистевого морфотипа с высокими биохимическими характеристиками плодов. Были отобраны линии зарубежной селекции с кистевидным морфотипом плодовой кисти, и на их основе с участием линий отечественного производства получен ряд гибридов первого поколения. Задача заключалась в том, чтобы оценить полученные гибриды по комплексу признаков, включающему продуктивность растений и биохимические показатели плодов.

Методы исследования. Исследования проводили на кафедре общей биологии и ботаники БГПУ (2014–2015 гг.) Объектами исследования служили гибриды первого поколения, полученные с участием линий зарубежной селекции: L54 (Германия), L55 (Чехия), L59 (Польша), L84 (Голландия) L89 (Россия) и линий селекции Республики Беларусь L8, L85 и L90. Гибриды выращивались по стандартной технологии в условиях защищенного грунта в весенне-летнем обороте. Показатели продуктивности плодов учитывали путем взвешивания в стадии биологической зрелости.

В лабораторных условиях определяли биохимические показатели плодов. Определение сухих веществ устанавливали путем высушивания в сушильном шкафу [11]. Определение редуцирующих сахаров проводили по Иссекутцу [12]; содержание глюкозы – по методу Вильштеттера и Шудля [12]. Определение содержания каротиноидов устанавливали спектрофотометрическим методом [13]. Количественное содержание витамина С в плодах измеряли йодометрическим методом [14].

Результаты исследований и их обсуждение

В таблице 1 представлены результаты дисперсионного анализа, проведенного у двадцати одного гибрида F_1 , полученного с участием родительских линий кистевидного морфотипа по компонентам продуктивности и содержанию биохимических веществ в плодах томата.

Как свидетельствуют полученные данные, практически все признаки, за исключением одного (аскорбиновая кислота, отцовская форма, B), имеют достоверную дисперсию средних квадратов при 5% уровне значимости.

Таблица 1. – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа опыта 5×3 по компонентам продуктивности и биохимическим показателям гибридов томата F₁

Признаки	Средний квадрат, MS			
	Материнская форма, А	Отцовская форма, В	Взаимодействие, А×В	Ошибка
Общий урожай				
Масса плодов с одного растения, кг	2,179**	0,779**	1,336**	0,225
Средняя масса плода, г	7101,61**	2851,24**	1256,16**	68,29
Содержание сухих веществ, %	2,7862**	2,3363**	0,9195**	0,0745
Содержание моносахаридов, %	0,5551**	1,0863**	0,2209**	0,0742
Содержание дисахаридов, %	0,6024**	0,9297**	0,5071**	0,0346
Содержание каротиноидов, мг/100г	3,7012**	0,4492**	2,4088**	0,0820
Содержание аскорбиновой кислоты, мг%	150,6344**	21,7023	39,9404**	6,6246

Примечание: ** – F при 5% уровне значимости

Это позволило нам провести характеристику и дифференцировать анализируемую группу гибридов. Достоверность средних квадратов по признакам масса плодов с одного растения, средняя масса плода, содержание сухих веществ, моно- и дисахаридов, каротиноидов, аскорбиновой кислоты свидетельствует о том, что по всем этим признакам между изучаемыми гибридными комбинациями имеются различия. В таблице 2 представлены средние результаты гибридов при испытании их в условиях защищенного грунта в весенне-летнем обороте.

Таблица 2. – Показатели продуктивности растений и биохимического состава плодов у гибридов томата F₁

Образцы	Компоненты продуктивности		Биохимические показатели				
	Масса плодов одного растения, кг	Средняя масса плода, г	Сухие вещества, %	Моносахариды, %	Дисахариды, %	Каротиноиды, мг/100 г	Аскорбиновая кислота, мг%
54×8 F ₁	2,758	29	3,109	2,561	0,367	2,128	29,793
54×85 F ₁	2,350	24,5	2,649	2,206	0,315	0,534	26,929
54×90	2,518	26,5	2,536	2,197	0,313	0,196	27,825
55×8 F ₁	2,781	20,2	5,003	3,623	1,247	1,062	40,226
55×85 F ₁	2,252	52,7	3,253	2,224	0,832	0,691	39,008
55×90 F ₁	2,438	53,9	4,012	2,992	0,647	2,036	34,541
59×8 F ₁	1,616	5,9	5,197	3,318	1,635	1,434	40,014
59×85 F ₁	3,439	69	2,945	2,394	0,478	1,545	29,261
59×90 F ₁	3,859	91,8	3,383	2,833	0,249	3,637	29,254
84×8 F ₁	3,070	80,6	3,267	2,619	0,361	0,572	28,286
84×85 F ₁	3,875	87	3,661	2,755	0,573	1,395	32,589
84×90 F ₁	4,152	94,4	4,094	2,867	0,756	0,974	34,390
89×8F ₁	4,045	93,1	4,230	2,992	0,751	2,473	33,529
89×85 F ₁	3,310	90,9	3,774	2,545	0,972	2,574	36,383
89×90 F ₁	3,525	81,6	3,681	2,797	0,726	1,478	35,440
Среднее	3,066	60,07	3,653	2,728	0,681	1,515	33,165
НСР ₀₅	0,493	21,17	0,502	0,348	0,276	0,398	13,214

Масса плодов с одного растения. Данный показатель характеризует продуктивный потенциал гибрида, от которого непосредственно зависит общая урожайность растения. Среднее значение по гибридам (таблица 2) составляло 3,066 кг и колебалось от 1,616 (59×8) до 4,152 (84×90). Наиболее продуктивными комбинациями скрещивания были такие, как 84×90 (4,152), 89×8 (4,045), 84×85 (3,875), 59×90 (3,859) и 89×90 (3,525). Родительская форма L90 отмечена как лучший компонент, так как из пяти выделенных гибридов она присутствовала у трех.

Средняя масса плода. Наряду с предыдущим показателем, признак средняя масса плода не только влияет на урожайность растений, но и на качество плодов, особенно при селекции на крупноплодность, где данный показатель является одним из главных. Из таблицы 2 видно, что признак варьировал у гибридов, так при средней массе плода 60,07 г у одних гибридов он составлял 5,9 г (59×8), а у других 94,4 (84×90). Необходимо отметить, что масса плодов с растения очень тесно взаимосвязана со средней массой одного плода, коэффициент корреляции между ними составляет 0,87 (таблица 3). Более продуктивные гибриды, как правило, имеют и более крупные и тяжелые плоды. Это свидетельствует о том, что у анализируемой группы гибридов возможен отбор на высокие показатели одновременно по этим двум признакам.

Сухие вещества. Одним из признаков хорошего качества плодов томата является высокое содержание сухих веществ – это органические и минеральные соединения, за исключением воды. От количества сухих веществ зависят многие технологические свойства плодов – их транспортабельность, длительность хранения, выход готовой продукции при переработке и т. д. Среднее значение данного показателя у исследуемой группы гибридов составляло 3,653% и колебалось от 2,536 до 5,197 (таблица 2). К гибридам, выделившимся по данному показателю можно отнести 59×8 (5,197), 55×8 (5,003), 89×8 (4,230), 84×90 (4,094), 55×90 (4,012). У первых трех одним из компонентов скрещивания была форма L8. Содержание сухих веществ в плодах связано тесными, прямыми и положительными взаимоотношениями с такими биохимическими характеристиками, как содержание моносахаридов ($r = 0,93$), дисахаридов ($r = 0,87$) и аскорбиновой кислоты ($r = 0,81$) (таблица 3). Это позволяет сделать прогноз о том, что увеличение количества одного из этих биохимических характеристик в плодах неизбежно повлечет за собой увеличение и остальных трех у анализируемой группы гибридов.

Таблица 3. – Коэффициенты корреляции между показателями, характеризующими продуктивность растений и биохимический состав плодов у гибридов томата F₁

	Масса плодов с одного растения	Средняя масса плода	Содержание сухих веществ	Содержание моносахаридов	Содержание дисахаридов	Содержание каротиноидов	Содержание аскорбиновой кислоты
Масса плодов с одного растения	1,00						
Средняя масса плода	0,87	1,00					
Содержание сухих веществ	-0,05	-0,09	1,00				
Содержание моносахаридов	0,05	-0,09	0,93	1,00			
Содержание дисахаридов	-0,33	-0,30	0,87	0,67	1,00		
Содержание каротиноидов	0,41	0,43	0,21	0,29	-0,02	1,00	
Содержание аскорбиновой кислоты	-0,22	-0,14	0,81	0,61	0,91	0,04	1,00

Содержание моносахаридов. Основным компонентом сухих веществ в плодах помидоров являются сахара. Содержание суммы сахаров в зависимости от сорта и агротехники достигает от 1,5 до 8%. В плодах томата растворимые моносахариды представлены, главным образом, глюкозой (1,6%) и фруктозой (1,2%). В таблице 2 отражены результаты обследования группы гибридов по общей сумме моносахаридов (глюкозе и фруктозе). Среднее содержание моносахаридов – 2,728%, однако у некоторых комбинаций скрещивания, например, 55×8 и 59×8 этот показатель значительно превышает среднее значение и составляет соответственно 3,318 и 3,623. Необходимо отметить, что указанные гибриды отличались и по более высокому содержанию сухих веществ, коэффициент корреляции между данными признаками составлял 0,93 (таблица 3). У остальных гибридов содержание моносахаридов отличалось незначительно.

Содержание дисахаридов. Олигосахариды в плодах томатов представлены в основном дисахаридом сахарозой. Результаты анализа данного показателя у группы гибридов представлены в таблице 2. Среднее значение дисахаридов находилось на уровне 0,681% и колебалось от 0,249 (59×90) до 1,635 (59×8). Высокими показателями дисахаридов также характеризовались те комбинации скрещивания, которые были выделены по содержанию сухого вещества и моносахаридов – 55×8 (1,247) и 59×8 (1,635), коэффициент корреляции между признаками составлял соответственно 0,87 и 0,67 (таблица 3).

Содержание каротиноидов. Большое значение в селекционной работе с томатом приобрело получение гетерозисных гибридов с высоким показателем каротиноидов. Анализ содержания каротиноидов (таблица 2) позволил установить, что на фоне среднего значения 1,515 у исследуемой группы гибридов имеются отдельные комбинации скрещивания, которых данный показатель значительно выше, например, у образца (59×90) он составляет 3,637 мг/100 г. Высокие показатели также у гибридов 89×85 (2,574), 89×8 (2,473), 54×8 (2,128) и 55×90 (2,036). Установлена средняя корреляционная зависимость между содержанием каротина, с одной стороны, и массой плодов с одного растения и средней массой плода, с другой, коэффициенты корреляции соответственно составляют 0,41 и 0,43 (таблица 3).

Содержание аскорбиновой кислоты. Пищевая ценность плодов томата определяется, прежде всего, высоким (от 15 до 90 мг на 100 г сырого вещества) содержанием витаминов, среди которых аскорбиновой кислоты (витамин С) занимает одно из первых мест. Анализ гибридов, полученных с участием родительских форм с кистевидным морфотипом плодовой кисти, показал, что у них содержание аскорбиновой кислоты находится на уровне 33,165 мг/100 г, колеблясь у некоторых гибридов в пределах от 26,929 (54×85) до 40,226 (55×8). Лучшими гибридными комбинациями по содержанию витамина С оказались 55×8 (40,226), 59×8 (40,014) и 55×85(39,008). Необходимо отметить, что была установлена взаимозависимость содержания аскорбиновой кислоты с такими признаками, как содержание сухих веществ, моно- и дисахаридов у исследуемой группы гибридов, коэффициенты корреляции (r) составляли соответственно 0,81, 0,61 и 0,91. Это свидетельствует о том, что изменение одного из них при отборе неизбежно приведет к изменению всех сопряженных с ним признаков.

Выводы

Таким образом, установлено, что гибриды F₁, полученные с участием кистевидных форм, достоверно отличаются между собой по признакам, характеризующим продуктивность растений и биохимический состав плодов. Установлены средние значения по отдельными признакам и выделены комбинации скрещивания с более высокими характеристиками у анализируемой группы гибридов. Так, по признакам масса плодов с растения и средняя масса плода лучшими являются комбинации скрещивания 84×90, 89×8, 84×85, 59×90 и 89×90, по признаку содержание сухих веществ – 59×8, 55×8, 89×8, 84×90, 55×90, по признакам моно- и дисахаридов – 55×8 и 59×8. Высокие показатели каротиноидов наблюдались у гибридов 89×85, 89×8, 54×8 и 55×90, а аскорбиновой кислоты – 55×8, 59×8 и 55×85. У 50% выделенных лучших гибридов одним из компонентов скрещиваний служила линия L8, а у 30% – линия L90, что свидетельствует о перспективности использования этих линий в селекционных программах.

Установлены взаимосвязи между признаками, характеризующими продуктивность растений и биохимический потенциал плодов. Средняя масса плода тесно коррелирует с массой плодов одного растения (r = 0,87). Обнаружен ряд взаимозависимостей между биохимическими показателями. Так, имеются высокие и положительные коэффициенты корреляции между содержанием сухих веществ и количеством моносахаридов (0,93), дисахаридов (0,87) и аскорбиновой кислоты (0,81), что делает благоприятным прогноз на комплексное улучшение данных признаков при отборе. Не обнаружено связи между продуктивностью растения и биохимическим составом плодов, за исключением признака содержание каротиноидов, что необходимо учитывать в селекционных программах. При планировании продуктивных гибридов со сбалансированным биохимическим составом плодов необходимо подбирать компоненты для скрещивания с таким учетом, чтобы один из них обладал достаточной продуктивностью, а другой высоким биохимическим потенциалом.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. <http://www.fao.org/statistics/databases/ru/>
2. Куземенский, А. В. Генетические источники повышения качества плодов томата / А. В. Куземенский // Физиология и биохимия культурных растений. – Т. 38, № 3. – 2006. – С. 266–273.
3. Бакулина, В. А. Изучение химического состава плодов томатов, созревших на кусте и дозаренных / В. А. Бакулина // Доклад ТСХА. Вып. 148. – М., 1969. – С. 51–55.
4. Дворников, В. П. Показатели качества плодов томата различной лёжкости / В. П. Дворников // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 2. – С. 49–52.
5. Лазуткина, Е. А. Томаты кистевого типа в теплицах / Е. А. Лазуткина // Мир теплиц. – 1998. – № 8. – С. 22.
6. Идентификация аллельного состава генов, контролирующих биосинтез каротиноидов и созревание плодов, генотипов томата (*Solanum lycopersicum*) с применением функциональных ПЦР маркеров / В. Ф. Аджиева [и др.] // Весні НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2010. – № 1. – С. 39–45.
7. Влияние взаимодействия генов V, DG, HP, GS и ALC на содержание β-каротина и аскорбиновой кислоты в плодах томатов / А. В. Куземенский [и др.] // Матеріали Міжнародної наукової конференції «Каразинські природознавчі студії», Харків, 1–4 лютого 2011. – Харків. – С. 251–253.
8. Жученко, А. А. Изменчивость и наследование хозяйственно-ценных признаков у томатов / А. А. Жученко. – Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1973. – 631 с.
9. Fraser, P. D. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development / P. D. Fraser, M. Truesdale, C. R. Bird // Plant Physiol. – 1994. – V. 105. – P. 405–413.
10. Содержание ликопина и других каротиноидов в плодах томата (*Lycopersicon esculentum* L.) белорусской и зарубежной селекции / О. В. Булда [и др.] // Весні НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2009. – № 1. – С. 36–41.
11. Мурашев, С. В. Определение содержания воды и сухих веществ в пищевых продуктах : метод. указания / С. В. Мурашев, А. Л. Ишевский, Н. А. Уварова. – СПб., 2007. – 24 с.
12. Жванко, Ю. Н. Аналитическая химия и технологический контроль в общественном питании : учеб. пособие для техникумов / Ю. Н. Жванко, Г. В. Панкратова, З. И. Мамедова. – 2-е изд., испр. и перераб. – М. : Высш. шк., 1989. – 271 с.
13. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд. – Л. : Агропромиздат. 1987. – 430 с.
14. Кузнецова, Е. А. Пищевая химия : метод. указания по выполнению лабораторных работ / Е. А. Кузнецова. – Орел, 2008. – 49 с.

Поступила в редакцию 09.02.16

E-mail: Kavtsevich@yandex.ru, derevin@rambler.ru

V. N. Kavtsevich, A. V. Derevinsky

ESTIMATION OF PRODUCTIVITY COMPONENTS AND BIOCHEMICAL FRUIT COMPOSITION
IN F1 HYBRIDS OBTAINED ON THE BASIS OF RACEMOSE FORMS OF TOMATO

Tomato hybrids of the first generation, obtained with using racemose accessions, were evaluated for traits which characterize plant productivity and biochemical composition of the fruits. It was found out that cross combinations differed from one another, and the best cross combinations for the traits of fruit weight per plant, average fruit weight, total dry solids, mono- and disaccharides, carotenoids and ascorbic acid were defined. Two prospective lines L8 and L90, which were parents of the best hybrids for targeted traits, were identified as components for mating design. The high and positive relationship was established between average fruit weight and fruit weight per plant ($r = 0,87$), solids on one side and a number of monosaccharides (0,93), disaccharides (0,87) and ascorbic acid (0,81) on the other side; it makes a favorable forecast for the comprehensive improvement of these traits through breeding.

Keywords: hybrids, productivity, carotene, ascorbic acid, dry matters, sugars.