

Состояние пигментного аппарата и формирование структуры продуктивности у гибридов томата кистевидного морфотипа в раннем и общем урожае

В.Н. Кавцевич, А.В. Деревинский, А.А. Деревинская

Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»

Создание высокопродуктивных гетерозисных гибридов томата имеет приоритетное значение в современном овощеводстве Республики Беларусь. Это обусловлено тем, что среди овощных культур томаты занимают одно из первых мест по посевным площадям и валовому сбору урожая, так как отличаются повышенным спросом у потребителя ввиду высоких как питательных, так и диетических свойств. Кистевидные (кластерные) гибриды томата выгодно отличаются от других тем, что они убираются и поставляются на рынок целыми кистями, несущими 5–6 плодов, а не отдельными плодами, как обычно. Разработка селекционных программ, направленных на выведение гибридов томата кистевидного морфотипа, адаптированных к условиям Беларуси, – это перспективное направление, которое требует разработки и детализации научных подходов.

Цель исследования – дать оценку продуктивности гибридов томата первого поколения, полученных с участием кистевидных форм, по комплексу хозяйственно важных признаков и эффективности функционирования фотосинтетического аппарата, а также установить пути интеграции между данными системами в раннем и общем урожае.

Материал и методы. *Испытания проводили в условиях защищенного грунта в весенне-летнем обороте (2013–2014 гг.). Учитывали урожай в соответствии с методикой государственного сортоиспытания овощных культур. Определение содержания фотосинтетических пигментов осуществляли спектрофотометрическим методом. Расчет содержания пигментов в мг/г сухой биомассы листа производили на ЭВМ IBM, используя пакеты программы ГНУ «ИБиКИ НАНБ». Исходным материалом служили пятнадцать гибридов F₁, полученные с участием линий L54, L55, L59, L84, L89, L8, L90 и L85, отобранных соответственно из сортов и гибридов Искушение, Шарада, Благовест, Гулливер, Де барао черный, Вежа, Сладкоежка и Микадо. Первые пять служили в качестве материнских, а три последних – в качестве отцовских форм.*

Результаты и их обсуждение. *Исследовались признаки, характеризующие продуктивность растений (количество и масса плодов с одного растения, средняя масса плода), определялось содержание фотосинтетических пигментов в вегетативной сфере гибридов томата, полученных с участием кистевидных форм в раннем и общем урожае. Оценены взаимосвязи между признаками, характеризующими продуктивность растений, и параметрами фотосинтетического аппарата листьев.*

Заключение. *Проведена оценка гибридов первого поколения, полученных с участием кистевидных форм томата по комплексу признаков, характеризующих продуктивность растений и функционирование фотосинтетического аппарата листьев в раннем и общем урожае. Выделен ряд перспективных комбинаций скрещивания, представляющих интерес для дальнейшей селекционной работы. Установлены разнонаправленные корреляционные связи между компонентами продуктивности и активностью фотосинтетического аппарата листьев. Высокий положительный коэффициент корреляции между массой плодов с растения и средней массой плода свидетельствует об эффективности отбора по данному показателю. Выявлены тесные прямые взаимосвязи между пигментами листового аппарата – хлорофиллами *a*, *b* и каротиноидами, что свидетельствует об их высокой взаимообусловленности в процессах преобразования квантов света в электрохимическую энергию органических соединений. Высокопродуктивные формы томата, как правило, характеризовались эффективно функционирующим фотосинтетическим аппаратом листьев.*

Ключевые слова: *томат, хлорофилл, каротиноиды, продуктивность.*

State of Pigment Apparatus and Formation of Productivity Patterns of Tomato Hybrids of Clustered Morphotypes in Early and Total Harvest

V.N. Kavtsevich, A.V. Derevinsky, A.A. Derevinskaya

Educational Establishment «Belarusian State M. Tank Pedagogical University»

The creation of highly productive heterotic hybrids of tomatoes has priority importance in modern vegetable growing of the Republic of Belarus. This is due to the fact that among vegetables, tomatoes take one of the first places according to area and gross harvest, as they are characterized by high demand among consumers because of the high nutritional and dietic properties. Racemose (clustered) hybrids of tomato differ from others due to being harvested and supplied to the market in whole bunches, bearing 5–6 fruits, but not separate fruits. The development of breeding programs aimed at breeding tomato hybrids of clustered morphotypes, which are adapted to Belarusian conditions is a promising direction, which requires the development and specification of scientific approaches.

The aim of the present study was to evaluate the productivity of hybrids of tomatoes of the first generation, obtained with the participation of the racemose forms on a complex of economically important traits and the effectiveness of the functioning of the photosynthetic apparatus, as well as to set the path of integration between these systems in early and total harvest.

Material and methods. Tests were carried out in greenhouse in the spring-summer season of 2013–2014. Harvest accounting was carried out in accordance with the methods of state variety trials of vegetable crops. Determination of the content of photosynthetic pigments was carried out by spectrophotometric method. Calculation of the content of pigments in mg/g of dry biomass of leaf was performed on an IBM using program packages GNU «Ibiki NASB». The source material was fifteen F1 hybrids obtained with participation of lines L54, L55, L59, L84, L89, L8, L85 and L90, respectively, from selected varieties and hybrids Temptation, Charade, Blagovest, Gulliver, De Barao Black, Vezha, a Sweet Tooth and Mikado Mshap. The first five served as a parent, the last three as paternal forms.

Findings and their discussion. Studies were conducted of features that characterize plant productivity (number and weight of fruits per plant, average fruit weight), amount of photosynthetic pigments in the vegetative sphere of tomato hybrids obtained with participation of racemose forms in early and total harvest was established. Relationship between the features characterizing the productivity of plants and parameters of the photosynthetic apparatus of the leaves was evaluated.

Conclusion. Evaluation of first generation hybrids obtained with participation of racemose forms of tomato on a complex of features that characterize plant productivity and functioning of the photosynthetic apparatus of the leaves in early and total harvest was conducted. A number of promising combinations of crossing are of interest for further breeding work. Multi-directional correlations between the components of productivity and activity of the photosynthetic apparatus of the leaves were found out. A high positive correlation coefficient between fruit weight per plant and average fruit weight indicates the effectiveness of selection on this index. A close direct relationship between leaf pigments chlorophylls a, b and carotenoids was established, which testifies to their high interdependence in the processes of transformation of photons into electrochemical energy for organic compounds. Highly productive forms of tomatoes, as a rule, were characterized by well functioning photosynthetic apparatus of leaves.

Key words: tomato, chlorophyll, carotenoids, productivity.

Создание высокопродуктивных гетерозисных гибридов томата имеет приоритетное значение в современном овощеводстве Республики Беларусь. Среди овощных культур томаты занимают одно из первых мест по посевным площадям и валовому сбору урожая, так как отличаются повышенным спросом у потребителя ввиду высоких как питательных, так и диетических свойств.

Кистевидные (кластерные) гибриды томата выгодно отличаются от других тем, что они убираются и поставляются на рынок целыми кистями, несущими 5–6 плодов, а не отдельными плодами, как обычно. При этом плоды в пределах кисти имеют одинаковые размеры, ярко-красную окраску, устойчивы к растрескиванию, хорошо сохраняются при комнатной температуре [1]. Разработка селекционных программ, направленных на выведение гибридов томата кистевидного морфотипа, адаптированных к условиям Беларуси, – это перспективное направление, которое требует разработки и детализации научных подходов.

Знания закономерностей фотосинтеза сельскохозяйственной культуры позволяют наметить направления его оптимизации с целью увеличения урожайности растений. Одним из путей повышения продуктивности является максимальный приток продуктов фотосинтеза из фотосинтезирующих органов в хозяйственно важные органы, а также высокий уровень использования ассимилятов в ходе биосинтетических процессов. Имеются многочисленные сведения о наличии прямой пропорциональной связи между продуктивностью растений и содержанием хлорофилла в листьях [2–3]. В то же время есть другая

точка зрения, согласно которой в растении одновременно протекают физиологические, биохимические, биофизические и другие процессы метаболизма, обеспечивающие формирование хозяйственно ценных органов, и увеличение содержания хлорофилла в листьях не может служить единственным ведущим фактором на пути повышения продуктивности растения [4].

Тем не менее, основу метаболизма растений составляет совокупность реакций фотосинтеза, являющегося основным источником органических веществ. Будучи тесно связанным с процессами пластического и энергетического обмена, фотосинтез во многом определяет урожайность и продуктивность растений. В связи с этим поиск параметров активности фотосинтетического аппарата, позволяющих проводить эффективный отбор продуктивных форм, актуален и в настоящее время. Во многих работах показана зависимость величины и структуры фотосинтетического потенциала от генотипа растения [5–7].

Цель исследования – дать оценку продуктивности гибридов томата первого поколения, полученных с участием кистевидных форм, по комплексу хозяйственно важных признаков и эффективности функционирования фотосинтетического аппарата, а также установить пути интеграции между данными системами в раннем и общем урожае.

Материал и методы. В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения, биометрические измерения, учет урожая в соответствии с методикой государственного сортоиспытания овощных культур. При статистической обработке результатов исследований применена методика дисперсионного анализа [8].

В период вегетации томатов в условиях защищенного грунта сбор и учет плодов с каждого растения проводился периодически, чтобы проследить динамику отдачи урожая. Полученная информация может иметь непосредственное значение при составлении технологического паспорта гибрида. Ранняя и «дружная» отдача характеризует более скороспелые формы, вместе с тем смещение плодоношения на более поздние сроки характеризует средне- и позднеспелые гибриды томата. В эксперименте учитывалась ранняя продуктивность, которая складывалась из суммы сборов плодов, которые осуществлялись до 15 августа. Общая продуктивность включала все сборы плодов за весенне-летний вегетационный период.

Определение содержания фотосинтетических пигментов проводили спектрофотометрическим методом [9]. Расчет содержания пигментов в мг/г сухой биомассы листа осуществляли на ЭВМ IBM, используя пакеты программы ГНУ «ИБиКИ НАНБ». Исходным материалом служили пятнадцать гибридов F₁, полученные с участием линий L54, L55, L59, L84, L89, L8, L90 и L85, отобранных соответственно из сортов и гибридов Искушение, Шарада, Благовест, Гулливер, Де барао черный, Вежа, Сладкоежка и Микадо. Первые пять служили в качестве материнских, а три последних – в качестве отцовских форм.

Результаты и их обсуждение. Результаты дисперсионного анализа по компонентам продуктивности растений в раннем и общем урожае, вычисленные для группы гибридов F₁, полученных с участием кистевидных форм, представле-

ны в табл. 1. В раннем урожае средние квадраты отклонений по всем вариантам, за исключением двух (отцовская форма ♂ и взаимодействие материнской и отцовской форм ♀×♂ по признаку масса плодов с одного растения), значимы. Данные испытаний гибридов по компонентам продуктивности в общем урожае свидетельствуют о том, что дисперсия вызвана влиянием трех факторов: материнской формы, отцовской формы, а также их взаимодействием. Достоверность результатов подтвердилась превышением F_{0,05} фактического над F_{0,05} табличным: F факт. > Fтеор.

Таким образом, в опыте доказана достоверность различий между средними арифметическими практически по всем признакам, что дало возможность перейти к непосредственному их анализу.

Ранний урожай

Продуктивная сфера. Масса плодов с одного растения. Результаты исследований по компонентам формирования продуктивности и активности фотосинтетического аппарата гибридов томата F₁ в раннем урожае отражает табл. 2. Наиболее важным, результирующим показателем, характеризующим продуктивность растения в целом, является масса плодов с одного растения. По данному признаку из пятнадцати проанализированных гибридов F₁ восемь показали результаты выше среднего (1,95 кг) для всей группы гибридов. Лучшими среди них были комбинации скрещивания (в кг): 84×90 (2,508), 84×85 (2,34), 84×8 (2,32), 59×90 (2,29), 89×85 (2,29), 89×8 и 89×90 (2,28).

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта 5×3 по компонентам продуктивности гибридов томата F₁

Признаки	Средний квадрат, MS			
	Материнская форма, ♀	Отцовская форма, ♂	Взаимодействие, ♀×♂	Ошибка
Ранний урожай				
Масса плодов с одного растения, кг	5,321**	0,099	0,130	0,273
Количество плодов с одного растения, шт.	1647,58**	2962,84**	1116,23**	62,28
Средняя масса плода, г	1647,58**	2962,84**	1116,23**	62,28
Общий урожай				
Масса плодов с одного растения, кг	2,179**	0,779**	1,336**	0,225
Количество плодов с одного растения, шт.	9250,39**	18704,32**	8895,79**	162,15
Средняя масса плода, г	7101,61**	2851,24**	1256,16**	68,29

Примечание: ** – F при 0,05% уровне значимости.

Таблица 2

Показатели продуктивности плодов растений томата и состояния фотосинтетического аппарата листьев в раннем урожае у гибридов F₁

Образцы	Продуктивная сфера			Фотосинтетические пигменты, мг/г сухой массы					
	Масса плодов одного растения, кг	Количество плодов одного растения, шт.	Средняя масса плода, г	Хлорофилл а	Хлорофилл b	Хл (a+b)	Каротиноиды	Хла/Хлb	Хл (a+b)/ каротиноиды
54×8 F ₁	1,563	41,7	37,5	9,246	3,192	12,44	2,822	2,90	4,41
54×85 F ₁	1,380	47,7	29,0	11,978	3,981	15,96	3,688	3,01	4,33
54×90	1,356	43,7	31,1	9,051	3,110	12,16	3,031	2,91	4,01
55×8 F ₁	1,830	72,3	25,5	5,426	1,751	7,18	1,774	3,10	4,04
55×85 F ₁	2,183	31,3	70,2	8,779	3,910	12,69	3,597	2,50	3,60
55×90 F ₁	1,993	33,7	59,3	10,24	3,316	13,56	3,341	3,10	4,06
59×8 F ₁	0,825	97,3	8,50	9,901	3,503	13,22	3,407	2,81	3,70
59×85 F ₁	1,795	22,5	79,80	9,747	3,632	13,38	3,553	2,78	3,79
59×90 F ₁	2,285	21,0	110,9	10,001	3,196	13,20	3,440	3,13	3,84
84×8 F ₁	2,317	26,3	93,4	8,666	2,871	11,54	2,724	3,02	4,24
84×85 F ₁	2,335	19,3	124,4	9,433	3,188	12,62	2,982	2,96	4,23
84×90 F ₁	2,508	22,0	117,7	11,089	3,852	14,94	3,408	2,88	4,39
89×8 F ₁	2,283	22,5	102,5	12,186	4,346	16,53	3,612	2,81	4,59
89×85 F ₁	2,285	21,0	108,8	8,57	2,744	11,31	3,011	3,12	3,76
89×90 F ₁	2,283	21,7	105,7	9,208	2,985	12,19	2,921	3,08	4,18
Среднее	1,948	36,27	73,62	9,568	3,305	12,86	3,154	2,94	4,08
НСР ₀₅	0,521	12,95	21,71	0,258	0,371	–	0,256	–	–

Количество плодов с одного растения. Показатель количества плодов с одного растения является важной характеристикой, которая может непосредственно влиять на общую продуктивность растения. Как свидетельствуют результаты анализа линий томата (табл. 2), представленные в табл. 2, данный показатель у исследуемых гибридов колебался в широких пределах от 19,3 у гибрида 84x85 до 97,3 плодов у комбинации 59x8 при среднем количестве плодов, собранных с одного растения 36,7 штук. У основной массы гибридов, выделенных как лучшие по массе плодов с растения, данный показатель колебался в пределах от 19,3 (84x85) до 26,3 (84x8).

Средняя масса плода. Наряду с двумя предыдущими показателями средняя масса плода является важной составляющей продуктивности растения в целом. Этот показатель у анализируемой группы гибридов составлял 73,62 г (табл. 2). Размах варьирования по признаку был в пределах от 8,50 г у гибрида 59x8 до 124,4 г у комбинации скрещивания 84x85. У девяти гибридов данный показатель был выше среднего.

Корреляционные связи. Анализ признаков количество плодов с одного растения и средняя масса плода дает представление о том, за счет преимущественно какого компонента формируется продуктивность растения. Тесная отрицательная корреляционная связь ($r = - 0,80$), установленная между количеством плодов и средней массой плода, свидетельствует о том, что отбор

на высокие показатели одновременно по двум данным признакам не возможен у анализируемой группы гибридов (табл. 5). Данные корреляционного анализа говорят о том, что ранняя продуктивность гибридов определяется преимущественно крупноплодностью формы. Коэффициент корреляции между массой плодов с растения и средней массой плода достаточно высокий и положительный ($r=0,90$). Вместе с тем, между показателями массы плодов с одного растения и количеством плодов имеется тесная обратная связь ($r= - 0,82$). Это свидетельствует о том, что растения с большим количеством плодов не являются продуктивными, а отбор в данном направлении не будет перспективным.

Вегетативная сфера. Фотосинтетические пигменты. В табл. 3 представлены результаты дисперсионного анализа по компонентам активности фотосинтетического аппарата листьев у ряда гибридов F₁, полученных с участием кистевидных форм в раннем и общем урожае.

В табл. 3 представлены результаты дисперсионного анализа по компонентам активности фотосинтетического аппарата листьев у ряда гибридов F₁, полученных с участием кистевидных форм в раннем и общем урожае.

Как свидетельствуют представленные данные, в раннем урожае только два признака из шести имеют достоверную дисперсию средних квадратов – это содержание хлорофилла *a* и каротиноидов.

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта 5x3 по компонентам фотосинтетического аппарата листьев у гибридов томата F₁

Признаки	Средний квадрат, MS			
	Материнская форма, ♀	Отцовская форма, ♂	Взаимодействие, ♀×♂	Ошибка
Ранний урожай				
Хлорофилл <i>a</i>	15,47**	3,950**	0,024	5,129
Хлорофилл <i>b</i>	0,732	0,150**		0,276
Каротиноиды	1,207**	0,893**	0,009**	0,457
Хла+Хлб	9,360	2,724		2,894
Хла/Хлб	0,031	0,0010		0,035
Хла+Хлб/каротиноиды	0,150	0,085		0,054
Общий урожай				
Хлорофилл <i>a</i>	10,21**	10,42**	5,96**	0,48
Хлорофилл <i>b</i>	1,117**	1,878**	0,915**	0,167
Каротиноиды	1,353**	0,849**	0,549**	0,114
Хла+Хлб	7,995**	12,891**	6,280**	0,211
Хла/Хлб	0,360**	0,161**	0,114**	0,046
Хла+Хлб/каротиноиды	0,293**	0,558**	0,127**	0,038

Примечание: ** – F при 0,05% уровне значимости.

Таблица 4

Показатели продуктивности плодов растений и состояния фотосинтетического аппарата листьев в общем урожае гибридов F₁ томата

Образцы	Продуктивная сфера			Фотосинтетические пигменты, мг/г сухой массы					
	Масса плодов одного растения, кг	Количество плодов одного растения, шт.	Средняя масса плода, г	Хлорофилл a	Хлорофилл b	Хл (a+b),	Каротиноиды	Хла/Хлb	Хл (a+b)/ каротиноиды
54×8 F ₁	2,758	92	29,0	8,743	3,139	11,88	3,423	2,59	4,45
54×85 F ₁	2,350	93	24,5	11,099	3,883	14,98	4,187	2,53	4,30
54×90	2,518	92	26,5	8,232	3,124	11,36	3,521	2,69	4,10
55×8 F ₁	2,781	133,3	20,2	4,186	4,178	8,36	4,717	2,72	4,49
55×85 F ₁	2,252	41	52,7	7,089	4,321	11,41	3,901	2,49	4,45
55×90 F ₁	2,438	43,7	53,9	9,431	3,343	12,77	4,043	3,02	4,00
59×8 F ₁	1,616	256	5,9	9,934	3,073	13,01	3,801	2,79	3,89
59×85 F ₁	3,439	41	69,0	8,744	4,419	13,16	4,051	2,32	3,89
59×90 F ₁	3,859	41	91,8	9,453	3,939	13,39	4,041	2,75	3,81
84×8 F ₁	3,070	38,3	80,6	8,139	3,099	11,24	3,223	2,50	4,33
84×85 F ₁	3,875	43	87,0	9,303	4,188	13,49	3,379	2,25	4,03
84×90 F ₁	4,152	42,5	94,4	9,779	4,917	14,70	4,091	1,99	3,68
89×8 F ₁	4,045	42,5	93,1	9,426	2,759	12,19	2,295	2,70	4,68
89×85 F ₁	3,310	35	90,9	7,341	3,344	10,69	3,466	2,56	3,90
89×90 F ₁	3,525	41,7	81,6	9,935	3,962	13,90	3,473	2,56	4,27
Среднее	3,066	71,733	60,07	8,701	3,712	12,435	3,7	2,564	4,151
НСР ₀₅	0,493	13,04	23,42	0,549	0,258	0,673	0,699	0,296	0,340

Таблица 5

Коэффициенты корреляции между показателями продуктивности плодов растений и состояния физиологического аппарата листьев в раннем урожае гибридов томата F₁

Признак	Масса плодов с одного растения, кг	Количество плодов с одного растения, шт.	Средняя масса плода, г	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Хл <i>a</i> +Хл <i>b</i>	Каротиноиды	Хл <i>a</i> /Хл <i>b</i>	Хл <i>a</i> +Хл <i>b</i> /каротиноиды
Масса плодов с одного растения, кг	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Кол-во плодов с растения, шт.	-0,82	1,00	-	-	-	-	-	-	-
Средняя масса плода, г	0,90	-0,86	1,00	-	-	-	-	-	-
Хлорофилл <i>a</i>	0,01	-0,28	0,21	1,00	-	-	-	-	-
Хлорофилл <i>b</i>	-0,01	-0,24	0,15	0,89	1,00	-	-	-	-
Хл <i>a</i> +Хл <i>b</i>	0,01	-0,29	0,21	0,99	0,94	1,00	-	-	-
Каротиноиды	-0,04	-0,26	0,17	0,85	0,92	0,89	1,00	-	-
Хл <i>a</i> /Хл <i>b</i>	0,16	-0,08	0,14	-0,19	-0,61	-0,31	-0,46	1,00	-
Хл <i>a</i> +Хл <i>b</i> /каротиноиды	0,22	-0,25	0,18	0,41	0,21	0,37	-0,08	0,21	1,00

Таблица 6

Коефіцієнти кореляції між показателями продуктивності плодів рослин і станіа фізіялагічэскага апарата лісьев в абама уражае гібрада F₁ тамаа

Прызнак	Маса плодав с аднаго расьтэня, кг	Кольчыства плодав с аднаго расьтэня, шт.	Срэдняя маса плода, г	Хлорофілл <i>a</i>	Хлорофілл <i>b</i>	Хл α +Хл β	Каротыноіды	Хл α /Хл β	Хл α +Хл β /каротыноіды
Маса плодав с аднаго расьтэня, кг	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–
Кол-ва плодав с аднаго расьтэня, шт.	-0,67	1,00	–	–	–	–	–	–	–
Срэдняя маса плода, г	0,87	-0,79	1,00	–	–	–	–	–	–
Хлорофілл <i>a</i>	0,45	0,30	-0,57	1,00	–	–	–	–	–
Хлорофілл <i>b</i>	-0,39	0,31	-0,50	0,89	1,00	–	–	–	–
Хл α +Хл β	-0,40	0,29	-0,56	0,99	0,94	1,00	–	–	–
Каротыноіды	0,35	0,25	-0,37	0,85	0,92	0,89	1,00	–	–
Хл α /Хл β	0,03	-0,29	0,23	-0,19	-0,61	-0,31	-0,46	1,00	–
Хл α +Хл β /каротыноіды	-0,27	-0,03	-0,36	0,41	0,20	0,37	-0,09	0,20	1,00

Остальные параметры: содержание хлорофилла b , сумма хлорофиллов ($a+b$), соотношение Хла/Хлб и соотношение (Хла+Хлб)/каротиноиды – оказались не существенными, что не позволило дифференцировать имеющиеся образцы по данным признакам.

Проверка полученных параметров фотосинтетического аппарата в общем урожае (табл. 3) подтвердила наличие достоверных различий по всем анализируемым признакам, что позволило перейти к характеристике каждого отдельного признака.

Хлорофилл а. Одним из наиболее важных компонентов фотосинтетического аппарата клетки является содержание хлорофилла a , так как именно он является основным пигментом процесса фотосинтеза. Высокое содержание его в клетках вегетативных органов определяет продуктивность генеративных органов в целом и плодов у томатов в частности.

Установлено содержание хлорофилла a в листьях растений томата, результаты представлены в табл. 2. По этому показателю гибриды различались между собой, у семи из них содержание хлорофилла a было выше среднего. Как оказалось, высокое содержание хлорофилла ($мг/г$) было выявлено преимущественно у высокопродуктивных гибридов F_1 , таких, как 59×90 (10,001), 84×90 (11,089), 89×8 (12,182). У некоторых среднепродуктивных гибридов также обнаружено значительное содержание данного пигмента, например, 54×85 (11,978), 55×90 (10,24). Поэтому можно предположить, что между признаками, характеризующими продуктивность растений и активность работы фотосинтезирующего аппарата, не имеется тесных взаимозависимостей у данной группы гибридов. Это подтверждают значения коэффициентов корреляции, представленные в табл. 5, свидетельствующие о том, что между массой плодов с одного растения и содержанием хлорофилла a зависимость отсутствует ($r=0,01$).

Каротиноиды. По характеристике содержания каротиноидов в фотосинтетическом аппарате листьев девять гибридов показали результаты выше среднего (3,154) (табл. 2). Среди гибридов, выделившихся по содержанию каротиноидов, встречаются как высокопродуктивные по массе плодов с растения, например, 89×8, 59×90, так и среднепродуктивные гибриды: 54×85, 55×85, 59×85. Поэтому, как и в предыдущем случае, можно предположить, что между продуктивностью растений и содержанием каротиноидов в фотосинтезирующем аппарате листьев не имеется тесной взаимосвязи. Об этом также свидетель-

ствуют коэффициенты корреляции, представленные в табл. 3.

Тем не менее, между содержанием различных фотосинтетических пигментов обнаружена тесная корреляционная связь. Так, между содержанием хлорофилла a и каротиноидами коэффициент корреляции (r) составил 0,99 (табл. 5).

Представляло интерес выявление закономерностей в формировании общей продуктивности растений и функционировании фотосинтетического аппарата у гибридов томата первого поколения. Для этого были проанализированы компоненты продуктивности генеративной сферы и ассимиляционного аппарата листьев на этапе формирования общего урожая.

Общий урожай

Продуктивная сфера. Масса плодов с одного растения. В общем урожае средняя масса плодов с одного растения составляла 3,067 кг (табл. 4). Наибольшая масса плодов отмечена у гибридов 84×90 (4,15), 89×8 (4,05), 84×85 (3,88), 59×90 (3,86). Следует подчеркнуть, что эти гибриды входили в список тех комбинаций скрещивания, которые были лучшими и в раннем урожае. Свидетельством этого является выявленный достаточно высокий коэффициент корреляции ($r=0,79$) между массой плодов с одного растения в раннем и общем урожае.

Количество плодов с одного растения. При анализе признака количество плодов с одного растения оказалось, что при среднем значении данного показателя для группы гибридов 71,73 плода (табл. 4) индивидуальные показатели образцов значительно варьировали. Наибольшее количество плодов было получено у гибрида 59×8 (256 штук), а наименьшее – у комбинации скрещивания 89×85 (41,7). Однако, как и в раннем урожае, большое количество плодов не влияло на продуктивность растения. Об этом свидетельствует обратный коэффициент корреляции между массой плодов с одного растения и количеством плодов – 0,67 (табл. 6), он был ниже, чем тот, который выявили в раннем урожае (–0,86), но также достоверный (табл. 5).

Средняя масса плода. Анализируя среднюю массу плода в раннем (73,62 г) (табл. 2) и общем урожае (60,6 г) (табл. 4) можно отметить, что гибриды, полученные с участием кистевидных форм, не отличаются крупноплодностью: они относятся к средnekрупным формам. Однако и здесь, как и в случае с признаком количество плодов с одного растения, можно отметить, что наблюдается значительный полиморфизм образцов. Так, наименьшая масса плода отмечена у гибрида 59×8 (5,9 г), а наибольшая – у комбина-

ции скрещивания 84×90 (94,4 г). Необходимо отметить, что между признаками масса плодов с одного растения и средняя масса плода имеется положительная зависимость ($r=0,87$), как правило, наиболее урожайные гибриды обладают и наиболее крупными плодами (табл. 4).

Вегетативная сфера. Фотосинтетические пигменты. Формирование продуктивности хозяйственно важных органов растения, которыми у томата являются плоды, происходит в соответствии с накопленным фондом ассимилятов. Фотосинтез является единственным процессом, который обеспечивает синтез ассимилятов. Между фотосинтезом, происходящим в хлоропластах, и потребляющими органами растения (плоды, корневая система) существуют различные связи. Повышение продуктивности растения возможно путем оптимизации взаимосвязей. Необходимо также поиск параметров активности фотосинтетического аппарата, оказывающих влияние на процессы формирования хозяйственно ценных органов, потребляющих ассимиляты.

Важнейшим показателем работы фотосинтетического аппарата является содержание фотосинтетических пигментов.

Анализируя содержание фотосинтетических пигментов листового аппарата в раннем (табл. 2) и общем (табл. 4) урожае, можно отметить, что содержание некоторых из них повысилось, например, хлорофилла *b* – на 10,96%, каротиноидов – на 14,76%, а некоторых уменьшилось, например, хлорофилла *a* – на 9,06%, соотношение пигментов Хла/Хлв – на 12,79%, а суммы Хла и Хлв – на 3,31%.

Анализ гибридов позволил обнаружить зависимость содержания фотосинтетических пигментов от генотипа растения (табл. 4). Содержание хлорофилла *a* (мг/г) у гибридов колебалось от 4,186 (55×8) до 11,099 (54×85) при среднем значении 8,701. Уровень хлорофилла *b* был значительно ниже, среднее его значение составляло 3,713, здесь не выявлено значительной сортоспецифичности, пределы изменчивости признака колебались от 2,759 (89×8) до 4,917 (84×90). Анализ содержания каротиноидов (табл. 4) показал, что среднее значение для исследуемой группы гибридов составляет 3,708, а индивидуальные его значения колебались в пределах от 2,295 (89×8) до 4,717 (55×8).

Корреляционные связи. Необходимо отметить, что между признаками, характеризующими фотосинтетический аппарат гибридов, установлены разнонаправленные корреляционные связи. Так, обнаружены взаимосвязи между содержанием пигментов (табл. 6), например, хлорофилла *a*, с

одной стороны, и хлорофилла *b* (0,89), Хла+Хлв (0,99) и каротиноидов (0,85), с другой стороны. Обратная корреляция установлена между содержанием хлорофилла *b* и соотношением пигментов Хла/Хлв (–0,61). Следует отметить, что тенденции корреляционных взаимоотношений между показателями, обнаруженные в раннем урожае, сохранились и в общем урожае.

Отбор по физиологическим критериям функционирования фотосинтетического аппарата должен базироваться на данных их количественной оценки, а также на показателях корреляционной взаимосвязи с хозяйственно важными признаками. Как оказалось, высокопродуктивные гибриды по массе плодов с одного растения отличались и высоким содержанием хлорофилла *a* (табл. 4), однако у некоторых среднепродуктивных гибридов по данному показателю также отмечены высокие показатели по содержанию хлорофилла *a* (мг/г), например, 54×85 (11,099), 59×8 (9,934), 55×90 (9,431).

Вероятно, это связано с тем, что между механизмами, обуславливающими формирование массы плодов на растении, и процессами, влияющими на активность фотосинтезирующего аппарата листьев, не наблюдается тесных корреляционных связей. Подтверждением этого являются коэффициенты корреляции (табл. 6), например, между массой плодов растения, с одной стороны, и содержанием хлорофилла *a* ($r=0,45$), хлорофилла *b* ($r=-0,39$) и каротиноидов ($r=0,35$), с другой стороны.

Заключение. Таким образом, при изучении гибридов томата первого поколения с участием кистевидных форм получены результаты, характеризующие хозяйственно важные признаки растений в раннем и общем урожае.

Генетическая неоднородность изучаемого материала указывает на то, что анализируемые генотипы содержат аллели, способные приводить к проявлению эффектов сверхдоминирования, и поэтому представляют интерес для гетерозисной селекции.

Установлены различия между гибридами по следующим признакам: масса плодов с одного растения, количество плодов с одного растения и средняя масса плода. Выделены формы с максимальными значениями перечисленных признаков как в раннем, так и общем урожае: по массе плодов с одного растения (гибриды 84×90, 84×85, 84×8, 59×90, 89×85, 89×8, 89×90), по количеству плодов с одного растения (59×8, 55×8), по средней массе плода (84×85, 84×90, 59×90, 89×85).

У анализируемой группы гибридов получен комплекс параметров и их производных, харак-

теризующих фотосинтетическую активность листового аппарата как в раннем, так и в общем урожае. Выделены гибриды, у которых отмечена наиболее высокая эффективность функционирования фотосинтетического аппарата, так, по содержанию хлорофилла *a* – это гибриды 89×8, 54×85, 59×90, 84×90, 55×90, Хлб – 89×8, 54×85, 84×90, 59×85, каротиноидов – 54×85, 89×8, 59×85, 55×85, 55×8, 84×90.

Установлены тесные взаимосвязи между признаками, характеризующими продуктивность растений. Так, между массой плодов с растения и массой одного плода имеется прямая корреляционная зависимость, а между массой плодов с одного растения и количеством плодов обратная.

Между параметрами функционирования фотосинтетического аппарата также выявлен ряд взаимозависимостей. Наблюдались высокие положительные коэффициенты корреляции между содержанием хлорофилла *a*, хлорофилла *b*, каротиноидов, что может свидетельствовать о взаимно обуславливающих механизмах их биосинтеза.

Высокая эффективность функционирования фотосинтетического аппарата растений может служить определенным ориентиром для отбора продуктивных форм томата. Однако ввиду того, что между признаками, характеризующими продуктивность плодов растения, и параметрами фотосинтетического аппарата листьев не обнаружено тесной корреляционной зависимости, нельзя с полной уверенностью утверждать, что отбор форм томата, основанный только лишь на показателях пигментного состава листьев, приведет к выделению высокопродуктивных форм томата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лазуткина, Е.А. Томаты кистевого типа в теплицах / Е.А. Лазуткина // Мир теплиц. – 1998. – № 8. – С. 22.
2. Андрианова, Ю.Е. Хлорофилл и продуктивность растений / Ю.Е. Андрианова, И.А. Тарчевский. – М.: Наука, 2000. – 135 с.

3. Коф, Э.М. Листовой аппарат, пигментный комплекс и продуктивность дикого и афийного генотипов гороха / Э.М. Коф, А.С. Ооржак, И.А. Виноградова, З.В. Калиберная, Т.Е. Кренделева, Г.П. Кухарских, И.В. Кондыков, Е.С. Чувашева // Физиология растений. – 2004. – Т. 51. – С. 500–506.
4. Ничипорович, А.А. Хлорофилл и фотосинтетическая продуктивность растений / А.А. Ничипорович // В сб.: Хлорофилл. – Минск: Наука и техника, 1974. – С. 49–62.
5. Бочарникова, Н.И. Генетическая коллекция мутантных форм томата и ее использование в селекционно-генетических исследованиях / Н.И. Бочарникова // ВНИИССОК. – М.: Издательство ВНИИССОК, 2011. – 120 с.
6. Титок, В.В. Молекулярно-генетические и биохимические маркеры при гетерозисе / В.В. Титок // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. – 2004. – № 3. – С. 103–107.
7. Хотылева, Л.В. Онтогенетическая динамика фотосинтетической деятельности растений льна в связи с их продуктивностью / Л.В. Хотылева, В.А. Войнило, А.А. Лемеш, Н.И. Божко, А.Э. Луканская // С.-х. биология. – 1998. – № 3. – С. 98–104.
8. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агрпромиздат, 1985. – 351 с.
9. Шлык, А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А.А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений. – М.: Наука, 1971. – С. 154–170.

REFERENCES

1. Lazutkina E.A. *Mir teplits* [World of Greenhouses], 1998, 8, p. 22.
2. Andrianova Yu.E., Tarchevski I.A. *Khlorofill i produktivnost rastenii* [Chlorophyll and Plant Productivity], M., Nauka, 2000, 135 p.
3. Kof E.M., Oorzhak A.S., Vinogradova I.A., Kalibernaya Z.V., Krendeleva T.E., Kukharskikh G.P., Kondykov I.V., Chuvashева E.S. *Phiziologiya rastenii* [Physiology of Plants], 2004, 51, pp. 500–506.
4. Nichiporovich A.A. *Sbornik Khlorofill* [Collection Chlorophyll], Minsk, Nauka i Tekhnika, 1974, pp. 49–62.
5. Bocharnikova N.I. *Geneticheskaya kolleksiya mutantnykh form tomata i yeyo ispolzovaniye v selektsionno-geneticheskikh issledovaniyakh* [Genetic Collection of Tomato Mutant Forms and its Application in Selection and Genetic Studies], M., Izdatelstvo VNISSOK, 2011, 120 p.
6. Tytok V.V. *Vestsi NAN Belarusi. Ser. biyal. navuk* [Newsletter of NAS of Belarus. Biological Sciences], 2004, 3, pp. 103–107.
7. Khotyleva L.V., Voinylo V.A., Lemesh A.A., Bozhko N.I., Lukanskaya A.E. *S-kh biologiya* [Agricultural Biology], 1998, 3, pp. 98–104.
8. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opita (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezultatov issledovaniy)* [Methods of Field Experiment (with the Bases of Statistical Processing of Research Findings)], M., Agropromizdat, 1985, 351 p.
9. Sluk A.A. *Biokhimicheskiye metody v fiziologii rastenii* [Biochemical Methods in Physiology of Plants], M., Nauka, 1971, pp. 154–170.

Поступила в редакцию 20.01.2016

Адрес для корреспонденции: e-mail: kavtsevich@yandex.ru – Кавцевич В.Н.