

ОЦЕНКА ЛИНИЙ ТОМАТА ДЛЯ ОТКРЫТОГО ГРУНТА, СОЗДАНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КЛАССИЧЕСКОЙ И МАРКЕР-СОПУТСТВУЮЩЕЙ СЕЛЕКЦИИ

И. Г. ПУГАЧЁВА, М. М. ДОБРОДЬКИН, Н. Ю. ЛЕЩИНА, И. Е. БАЕВА

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

Н. А. НЕКРАШЕВИЧ, О. Г. БАБАК, А. В. КИЛЬЧЕВСКИЙ

Институт генетики и цитологии НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь, 220072

(Поступила в редакцию 10.11.2020)

Сотрудниками Белорусской государственной сельскохозяйственной академии совместно с учеными Института генетики и цитологии НАН Беларуси проведена оценка по комплексу хозяйственно полезных признаков и создан исходный материал томата для открытого грунта, усовершенствованы методы отбора ценных образцов с использованием классической и маркер-сопутствующей селекции. По результатам ДНК-анализа на наличие ценных аллелей, а также оценки признаков урожайности в открытом грунте выделен ценный селекционный материал F₄ для дальнейшей селекции на качество плодов и устойчивость к болезням и вредителям: 20-503/1, 20-506/1, 20-509/1, 20-512/1, 20-523/1, 20-524/1, 20-569/1, 20-580/1, 20-585/3, 20-591/1, 20-592/4, 20-620/2. Данные образцы характеризуются различными сочетаниями аллелей лежкости (*nor^A* (*alcobaca*), *nor* (*nonripening*)), качества плодов (*t* (*tangerine*), *ogc* (*old gold crimson*), *B* (*Beta* из *S.pennellii*), *b* (*beta* из *S.lycopersocum*), *hp2^{dg}* (*high pigment 2 dark green*)); устойчивости к болезням и вредителям (кладоспориозу (*Cf-4*, *Cf-5*), фузариозу (*I-2*), вирусу мозаики томата (*Tm2²*), вирусу бронзовости (*Sw-5*), нематоды (*Mi-1.2*), а также обладают потенциалом формирования урожайности до 463,98–926,79 ц/га при средней массе товарного плода 60,74–125,14 г.

На основании оценки по комплексу хозяйственно-ценных характеристик константных линий F₆–F₇ выделены 7 образцов, сформировавших раннюю урожайность на уровне 53,3–115,1 ц/га, товарную урожайность – 443,0–675,9 ц/га, общую урожайность – 577,2–925,1 ц/га, имеющих плоды массой 38,3–262,3 г с содержанием каротина 15,6–22,5 мг/кг и характеризующихся наличием ценных аллелей. Лучшие из них будут переданы для испытания в ГСИ.

Ключевые слова: томат, селекционные линии, открытый грунт, устойчивость к болезням, каротиноиды, урожайность.

The Belarusian State Agricultural Academy, together with the Institute of Genetics and Cytology of the National Academy of Sciences of Belarus, estimated open ground tomato according to a complex of economically useful traits, created its source material, and improved methods of selecting valuable samples using classical and marker-assisted selection. Based on the results of DNA analysis for the presence of valuable alleles, as well as an assessment of traits of yield in the open ground, valuable breeding material F₄ was isolated for further selection for fruit quality and resistance to diseases and pests: 20-503/1, 20-506/1, 20-509/1, 20-512/1, 20-523/1, 20-524/1, 20-569/1, 20-580/1, 20-585/3, 20-591/1, 20-592/4, 20-620/2. These samples are characterized by various combinations of alleles for storing quality (*norA* (*alcobaca*), *nor* (*nonripening*)), fruit quality (*t* (*tangerine*), *ogc* (*old gold crimson*), *B* (*Beta* from *S. pennellii*), *b* (*beta* from *S. lycopersocum*), *hp2dg* (*high pigment 2 dark green*)); resistance to diseases and pests (*cladosporium* (*Cf-4*, *Cf-5*), *fusarium* (*I-2*), *tomato mosaic virus* (*Tm22*), *spotted wilt virus* (*Sw-5*), *nematode* (*Mi-1.2*), and also have a potential of forming yield up to 463.98–926.79 t / ha with an average weight of marketable fruit of 60.74–125.14 g.

Based on an assessment of constant lines F₆–F₇ according to a complex of economically valuable characteristics, 7 samples were identified that formed an early yield at the level of 53.3–115.1 t / ha, marketable yield – 443.0–675.9 t / ha, total yield – 577.2–925.1 t / ha, had fruits weighing 38.3–262.3 g with a carotene content of 15.6–22.5 mg / kg and characterized by the presence of valuable alleles. The best of them will be submitted for State Variety Testing.

Key words: tomato, breeding lines, open ground, disease resistance, carotenoids, yield.

Введение

Томаты лидируют в рейтинге самых потребляемых овощей во всем мире. Плоды томатов обладают высокой питательной, вкусовой и диетической ценностью. Широкое распространение томатов объясняется высокой экологической пластичностью, урожайностью, многоцелевым использованием. Однако погодные условия Республики Беларусь обеспечивают выращивание гарантированного урожая томата в открытом грунте один раз в 4–5 лет [1, 2]. При этом изменение климата в сторону потепления подтверждает перспективность ведения селекции в данном направлении. По сравнению с тепличным овощеводством выращивание томатов в открытом грунте позволяет значительно снизить дополнительные затраты за счет экономии топливно-энергетических ресурсов. Кроме того, производство семян гибридов F₁ для открытого грунта может быть связано с большими затратами ручного труда, что является предпосылкой для создания и выращивания константного сортового материала.

Наряду с отбором устойчивых к болезням (фитофтороз, фузариоз, вирус мозаики томата, кладоспориоз) и вредителям (нематоды) селекционных форм, создание форм с оптимальным габитусом и уменьшенным количеством пасынков может способствовать контролю потерь урожая. Отбор форм с

повышенной устойчивостью к стрессовым температурным условиям позволит растениям противостоять поздним весенним и ранним осенним понижениям температуры.

Важным требованием к создаваемым сортам томатов является высокое качество плодов, которое определяется сочетанием вкуса и биологической ценности, гладкой поверхности, равномерной интенсивной окраски, небольшого количества клетчатки, семян, проводящей ткани, устойчивости к растрескиванию, длительности хранения, пригодности к транспортировке и различным способам переработки [3]. Одним из показателей, определяющих биохимическую ценность плодов томата, является содержание в них различных форм каротиноидов, важнейшей биологической функцией которых в организме человека является провитаминная (А) и антиоксидантная активность [4, 5].

Для достижения максимального эффекта при создании новых сортов традиционные методы селекции следует сочетать с маркер-сопутствующим отбором. Использование молекулярных маркеров дает возможность отобрать формы с целевыми аллелями без создания инфекционных фонов (в селекции на устойчивость к болезням) и на ранних стадиях развития растений (в селекции на качество плодов). Использование данных методов в сочетании с полевой оценкой и биохимическим анализом плодов позволяет повысить эффективность селекционного процесса [6, 7].

Белорусской государственной сельскохозяйственной академией совместно с Институтом генетики и цитологии НАН Беларуси ранее проведена оценка и создан селекционный материал томата по комплексу хозяйственно ценных признаков. Выявлены с использованием методов маркер-ассоциированной селекции (МАС) формы и сочетания аллелей качества плодов, обеспечивающих высокое накопление каротиноидов и лежкость, устойчивость к болезням и вредителям [8, 9, 10]. Проведена оценка материала с различными аллелями, детерминирующими развитие главного и боковых побегов растения (*sp*, *bl*, *ls*). Отобраны формы с устойчивостью к пониженной температуре методами оценки на уровне гаметофита и спорофита, создан материал, сочетающий устойчивость к пониженной температуре с аллелями устойчивости к фузариозу, кладоспориозу, нематоде [11].

Целью данных исследований являлось создание высокопродуктивного сорта томата для открытого грунта с комплексом генов, определяющих качество плодов, устойчивость к болезням и вредителям, габитус растения, с применением методов МАС и классической селекции.

Основная часть

Материалом для исследования были 45 детерминантных и полудетерминантных образцов F_6 – F_7 , сочетающих гены, контролирующие качество плодов, устойчивость к болезням, адаптированные к погоднo-климатическим условиям северо-запада Республики Беларусь; образцы поколения F_3 – F_4 с различным сочетанием аллелей качества плодов, устойчивости к болезням, формирования габитуса растений.

Полевая оценка образцов проводилась на опытном поле кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии УО БГСХА в 2019 и 2020 годах. Почва опытного участка дерново-подзолистая, окультуренная, среднесуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке со следующими агрохимическими показателями: гумус – 1,98 %, pH_{KCl} – 6,35, P_2O_5 – 190,2 мг/кг, K_2O – 194,9 мг/кг почвы.

В ГНУ «Институт генетики и цитологии НАН Беларуси» с использованием разработанных методических указаний выполнен ДНК-анализ изучаемого материала по аллелям, определяющим накопление каротиноидов (*t*, *b*, *B*, *og*^c), регулирующих сроки созревания плодов (*rin*, *por*, *por*^A), количество пигментов в плодах (*hp-1*, *hp-2*^{dg}, *gf-3*), устойчивость к кладоспориозу (*Cf-2*, *Cf-4*, *Cf-5*, *Cf-9*), фузариозу (*I-2*), вирусу мозаики томата (*Tm2*, *Tm2*²), вирусу бронзовости (*Sw-5*), нематоде (*Mi-1.2*) [9]. Также было выполнено ДНК-типирование материала по аллелям, определяющим формирование габитуса (*sp*, *d*).

Растения F_6 – F_7 высаживали в открытом грунте в 3-кратной повторности по 5 на делянке. Схема посадки 70х30 см. Доза удобрений $N_{60}(P_2O_5)_{120}(K_2O)_{120}$. Агротехника общепринятая для томата в открытом грунте. В качестве стандартов использовали сорт Ирма и раннеспелый детерминантный гибрид Адапт F_1 . Сборы урожая осуществлялись с интервалом 7 дней, на основании полученных данных рассчитана ранняя урожайность образцов (учитывали первые три сбора), товарная и общая урожайность, средняя масса плода. Анализ образцов томата по общему содержанию каротиноидов (в пересчете на β -каротин) проводился в Химико-экологической лаборатории УО БГСХА фотометрическим методом согласно ГОСТ 13496.17-95.

Также в 2019 году были высажены растения 90 семей поколения F_3 (по 20 растений на делянке), полученных от скрещивания образцов, несущих гены качества плодов, устойчивости к болезням и вредителям. Проведен индивидуальный отбор с учетом комплекса фенотипических признаков и при-

знаков урожайности, выделены более 100 растений. Отбор среди них по результатам ДНК-типирования позволил выделить 20 форм с ценными аллелями, которые были оценены в полевых условиях в 2020 году (2-кратная повторность по 5 растений на делянке). Оценку достоверности полученных результатов проводили методом однофакторного дисперсионного анализа.

Селекция на урожайность, которая является главным критерием ценности сорта, для томата продолжает оставаться основным направлением селекции. Урожай определяется числом и массой плодов на растении или единице площади.

Результаты оценки признаков урожайности 45 линий томата F₆-F₇ представлены в табл. 1 и 2. Изучаемые образцы характеризуются значительным разнообразием по признаку «масса плода»: от 30–50 г до 230–260 г (табл. 1), что обеспечивает возможность выбора линий для различных направлений использования: мелкоплодные для переработки и цельноплодного консервирования, крупноплодные – для употребления в свежем виде.

Таблица 1. Масса плода и ранняя урожайность образцов томата в открытом грунте, среднее за 2019–2020 гг.

Образец	Средняя масса плода, г			Ранняя урожайность, ц/га		
	2019	2020	среднее	2019	2020	среднее
Ирма (стандарт)	30,87	33,02	31,95	77,21	92,28	84,745
Адапт F ₁ (стандарт)	58,58	61,52	60,05	131,11	193,73	162,42
Линия 19-508	74,84	92,13	83,49	80,54	7,14	43,84
Линия 19-606	95,35	104,99	100,17	79,62	122,59	101,11
Линия 19-607	38,67	44,56	41,62	97,46	42,07	69,77
Линия 19-608	26,67	27,53	27,10	45,97	25,59	35,78
Линия 19-609	39,16	37,28	38,22	86,17	125,96	106,07
Линия 19-611	175,75	214,69	195,22	50,81	11,75	31,28
Линия 19-612	168,07	199,42	183,75	29,54	9,50	19,52
Линия 19-613	41,73	48,56	45,15	26,35	11,63	18,99
Линия 19-614	225,78	232,38	229,08	0,00	28,49	14,24
Линия 19-615	245,77	258,32	252,05	10,73	8,89	9,81
Линия 19-616	279,04	245,64	262,34	106,81	87,01	96,91
Линия 19-618	57,64	71,24	64,44	161,84	262,06	211,95
Линия 19-621	67,53	77,31	72,42	147,87	241,51	194,69
Линия 19-622	66,39	79,45	72,92	100,13	191,08	145,61
Линия 19-623	52,51	50,13	51,32	86,54	61,75	74,15
Линия 19-624	82,53	81,61	82,07	113,27	257,70	185,49
Линия 19-625	44,99	49,88	47,44	96,95	149,68	123,32
Линия 19-627	33,75	38,35	36,05	61,76	156,00	108,88
Линия 19-628	41,98	41,84	41,91	71,46	130,65	101,06
Линия 19-629	44,06	52,08	48,07	85,94	199,64	142,79
Линия 19-631	40,20	50,31	45,26	41,78	119,92	80,85
Линия 19-632	29,22	35,95	32,59	23,25	94,15	58,7
Линия 19-635	44,61	37,38	40,99	64,95	148,72	106,84
Линия 19-636	37,50	35,91	36,71	0,00	126,10	63,05
Линия 19-637	51,33	52,36	51,85	35,25	69,65	52,45
Линия 19-639	41,60	52,84	47,22	0,00	3,97	1,99
Линия 19-640	105,68	148,20	126,94	51,86	20,16	36,01
Линия 19-641	181,85	153,81	167,83	40,71	46,89	43,8
Линия 19-642	55,53	68,92	62,23	17,30	23,12	20,21
Линия 19-643	100,91	86,41	93,66	31,14	75,26	53,20
Линия 19-644	97,85	92,45	95,15	38,84	80,61	59,73
Линия 19-645	104,43	93,85	99,14	47,81	89,52	68,67
Линия 19-646	102,61	121,67	112,14	63,16	81,01	72,09
Линия 19-647	135,41	70,10	102,76	55,24	48,04	51,64
Линия 19-649	140,58	141,45	141,02	57,27	45,45	51,36
Линия 19-650	109,71	114,77	112,24	14,54	20,05	17,30
Линия 19-651	70,44	95,13	82,79	100,35	149,14	124,75
Линия 19-652	78,97	87,76	83,37	198,22	109,69	153,96
Линия 19-653	108,49	96,47	102,48	115,17	134,05	124,61
Линия 19-654	100,60	90,30	95,45	42,10	79,35	60,73
Линия 19-655	111,77	118,52	115,15	0,00	0,00	0,00
Линия 19-656	119,83	100,90	110,37	16,57	20,38	18,48
Линия 19-657	161,68	187,30	174,49	0,00	7,20	3,60
Линия 19-658	77,04	91,44	84,24	7,06	31,35	19,21
Линия 19-659	133,71	116,77	125,24	37,65	24,08	30,89
НСР ₀₅	23,325	14,914		55,258	18,562	

К линиям универсального назначения можно отнести линии 19-606, 19-611, 19-612, 19-640, 19-641, 19-646, 19-647, 19-649, 19-650, 19-653, 19-655, 19-657, 19-659, формирующие плоды массой 100–195 г. В течение исследований единичные образцы характеризовались очень низким, иногда нулевым, значением признака «ранняя урожайность». Большинство линий, находящихся в испытании, по ранней урожайности не уступали стандартным образцам, формируя в среднем за два года от 80,85 до 211,95 ц/га. Выделены линии 19-618 и 19-621, которые по массе плодов, собранных за первые три сбора в открытом грунте, в 2019 и в 2020 году существенно превысили значение контрольного сорта Ирма на 109,6–183,9 % и на 91,5–161,7 %, соответственно. Данные формы также не уступали гибриду Адапт по этому признаку.

Максимальное значение признака «товарная урожайность» (503,81–539,12 ц/га) в 2019 году отмечено у Линий 19-612, 19-652 и 19-659 (табл. 2). Товарная урожайность двадцати пяти лучших образцов находилась на уровне 268,32–474,79 ц/га и достоверно не отличалась от сорта-стандарта Ирма. В 2020 году урожайность изучаемых линий была существенно выше (на 57,99–504,24 ц/га), чем у сорта Ирма. Данный сорт-стандарт превзошли по товарной урожайности 10 линий, причем 4 из них превзошли гибрид F₁ Адапт: Линия 19-616, Линия 19-631, Линия 19-632, Линия 19-635.

Таблица 2. Товарная и общая урожайность образцов томата в открытом грунте, среднее за 2019–2020 гг.

Образец	Товарная урожайность, ц/га			Общая урожайность, ц/га		
	2019	2020	среднее	2019	2020	среднее
Ирма (стандарт)	432,38	476,16	454,27	484,19	522,31	503,25
Адапт F ₁ (стандарт)	548,70	581,64	565,17	644,70	708,80	676,75
Линия 19-508	311,79	395,06	353,43	364,21	518,99	441,60
Линия 19-606	315,87	443,61	379,74	447,62	556,93	502,28
Линия 19-607	431,32	761,87	596,60	499,41	1016,70	758,06
Линия 19-608	286,79	602,04	444,42	440,60	740,51	590,56
Линия 19-609	416,98	503,45	460,22	480,19	674,24	577,22
Линия 19-611	416,67	507,94	462,31	512,38	710,48	611,43
Линия 19-612	539,12	403,61	471,37	658,53	672,62	665,58
Линия 19-613	83,02	143,21	113,12	87,30	245,08	166,19
Линия 19-614	330,08	405,21	367,65	402,82	654,78	528,80
Линия 19-615	308,06	518,28	413,17	551,37	632,29	591,83
Линия 19-616	474,79	817,06	645,93	655,87	988,25	822,06
Линия 19-618	304,76	615,62	460,19	332,19	722,69	527,44
Линия 19-621	245,65	348,07	296,86	266,92	469,10	368,01
Линия 19-622	259,52	449,13	354,33	274,95	541,22	408,09
Линия 19-623	268,32	174,18	221,25	295,30	240,03	267,67
Линия 19-624	447,49	498,67	473,08	506,41	587,76	547,09
Линия 19-625	237,40	398,36	317,88	260,76	445,71	353,24
Линия 19-627	298,90	571,32	435,11	358,86	633,18	496,02
Линия 19-628	396,90	489,06	442,98	564,52	605,98	585,25
Линия 19-629	255,28	516,05	385,67	293,93	564,51	429,22
Линия 19-631	371,30	980,40	675,85	602,54	1247,66	925,10
Линия 19-632	156,75	664,59	410,67	206,55	792,31	499,43
Линия 19-635	240,95	659,19	450,07	364,17	754,30	559,24
Линия 19-636	210,71	167,29	189,00	236,43	231,92	234,18
Линия 19-637	409,05	461,61	435,33	533,33	555,04	544,19
Линия 19-639	79,05	149,87	114,46	87,94	233,86	160,90
Линия 19-640	262,14	495,41	378,78	302,50	662,52	482,51
Линия 19-641	351,81	228,93	290,37	471,08	409,37	440,23
Линия 19-642	170,75	365,12	267,94	385,22	539,33	462,28
Линия 19-643	193,94	391,16	292,55	524,16	543,39	533,78
Линия 19-644	328,43	538,50	433,47	467,60	741,43	604,52
Линия 19-645	374,76	405,00	389,88	494,19	576,59	535,39
Линия 19-646	285,43	484,71	385,07	330,76	729,88	530,32
Линия 19-647	474,97	534,15	504,56	743,73	698,54	721,14
Линия 19-649	210,10	367,80	288,95	265,75	582,04	423,90
Линия 19-650	444,40	507,92	476,16	592,70	836,39	714,55
Линия 19-651	172,73	433,07	302,90	203,06	568,74	385,90
Линия 19-652	510,60	397,73	454,17	572,13	511,13	541,63
Линия 19-653	310,86	334,92	322,89	391,17	414,74	402,96
Линия 19-654	373,02	420,32	396,67	703,24	580,73	641,99
Линия 19-655	245,27	275,96	260,62	434,67	609,14	521,91
Линия 19-656	193,68	375,14	284,41	304,22	509,51	406,87
Линия 19-657	386,98	501,60	444,29	558,79	881,35	720,07
Линия 19-658	150,59	261,57	206,08	235,14	524,91	380,03
Линия 19-659	503,81	310,57	407,19	566,29	614,34	590,32
НСР ₀₅	167,667	43,224		218,005	45,377	

Общая урожайность в 2019 году находилась на уровне стандарта Ирма и составляла 266,92–743,73 ц/га. Лучшие образцы (Линия 19-611, 19-612, 19-615, 19-616, 19-624, 19-628, 19-631, 19-637, 19-643, 19-647, 19-650, 19-652, 19-654, 19-657, 19-659) сформировали 506,41–743,73 ц/га. Во второй год исследований большинство изучаемых линий достоверно превосходили сорт Ирма на 54,28–725,35 ц/га или 10,4–38,9 %, 10 форм были выше или на уровне гибрида F₁ Адапт.

Для оценки содержания каротиноидов в исследуемом материале F₆–F₇ были отобраны плоды одинаковой степени зрелости, собранные в первой половине сентября. Экстракция и определение концентрации каротиноидов проводились из замороженных плодов. Средние значения содержания каротиноидов в плодах томата за 2019–2020 гг. по результатам лабораторных исследований представлены в виде диаграммы на рисунке.

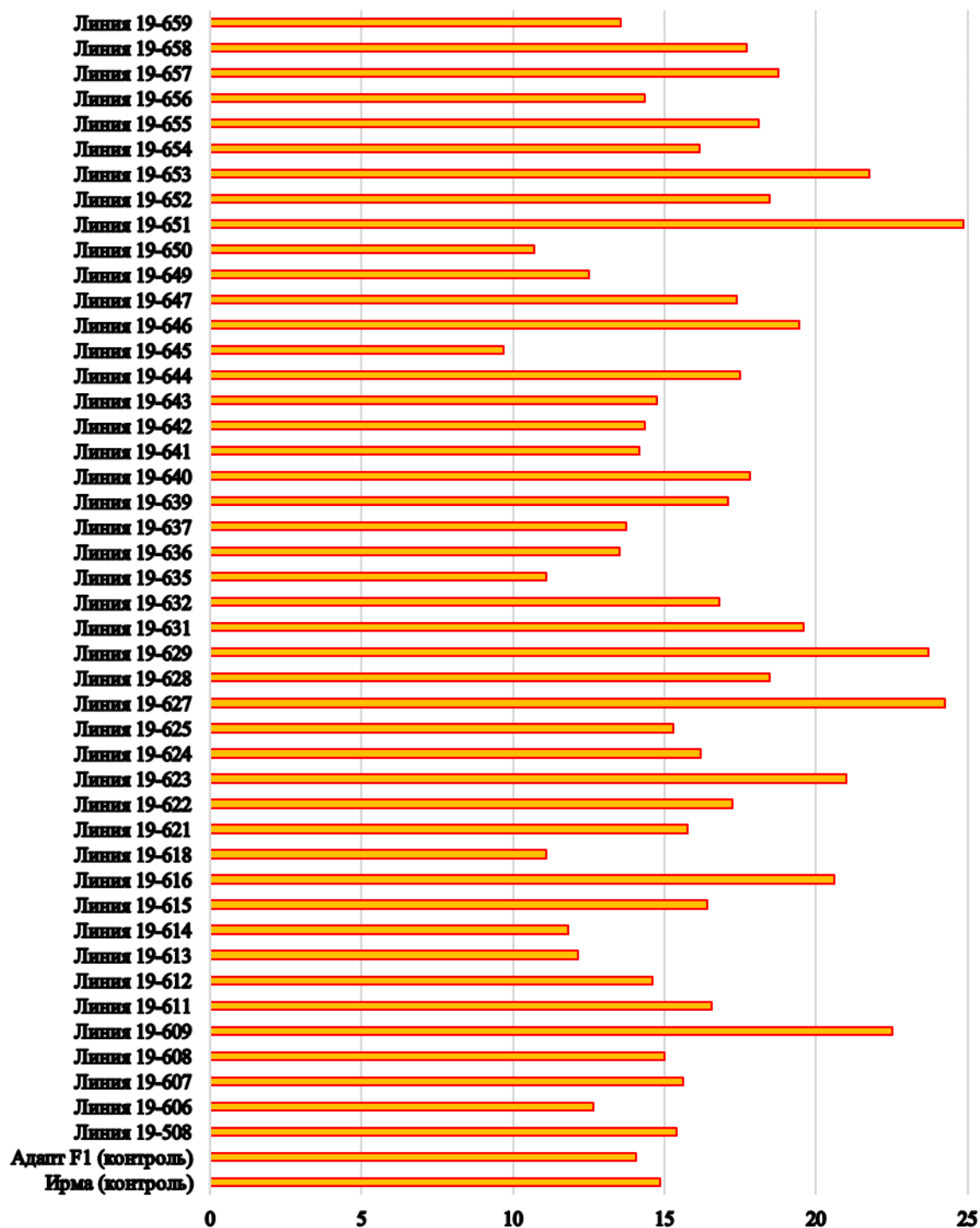


Рис. Общее содержание каротиноидов в плодах томата, мг/кг (среднее за 2019–2020 гг.)

Установленное в ходе анализа общее содержание каротиноидов в плодах варьировало от 9,7 до 24,9 мг/кг. Выделены 19 линий, превосходящих стандарт Ирма на 0,7–26,2 % по содержанию каротиноидов, а также 9 линий, в плодах которых содержание каротиноидов в среднем за два года превышало значение стандартного сорта Ирма на 30 и более процентов: Линия 19-609, Линия 19-616, Линия 19-623, Линия 19-627, Линия 19-629, Линия 19-631, Линия 19-632, Линия 19-646, Линия 19-651 и Линия 19-653.

В табл. 3 представлены результаты оценки признаков урожайности селекционных линий F₄ томата в 2020 году, а также указаны ценные аллели, обнаруженные в результате ДНК-анализа образцов в 2019 году. Среди двадцати тестируемых селекционных линий выделены формы с различными сочетаниями аллелей лежкости (*nor^A* (*alcobaca*), *nor* (*nonripening*)), качества плодов (*t* (*tangerine*), *og^c* (*old gold crimson*)), *B* (*Beta* из *S.pennellii*), *b* (*beta* из *S.lycopersicon*), *hp-2^{dg}* (*high pigment 2 dark green*)), устойчивости к болезням и вредителям (к кладоспориозу (*Cf-4*, *Cf-5*), фузариозу (*I-2*), вирусу мозаики томата (*Tm2²*), вирусу бронзовости (*Sw-5*), нематоды (*Mi-1.2*)).

Таблица 3. Признаки урожайности форм F₄ томата в открытом грунте, 2020 г.

Образец	Ценные аллели	Ранняя урожайность, ц/га	Общая урожайность, ц/га	Средняя масса плода, г
Ирма (стандарт)		67,07	541,84	33,02
Адапт F ₁ (стандарт)		186,44	687,60	61,52
Линия 20-503/1	<i>b</i> , <i>hp-2^{dg}</i> <i>I-2</i> , <i>Tm2²</i>	0,00	484,69	85,19
Линия 20-506/1	<i>nor^A</i> , <i>b</i> , <i>Cf-5</i>	179,22	584,13	85,25
Линия 20-507/1	<i>nor^A</i> , <i>b</i> , <i>Tm2²</i>	50,90	355,87	60,41
Линия 20-509/1	<i>nor^A</i> , <i>b</i>	25,79	732,74	73,90
Линия 20-510/1	<i>b</i> , <i>Cf-5</i> , <i>Tm2²</i>	139,13	413,41	58,76
Линия 20-512/1	<i>b</i> , <i>I-2</i>	16,39	463,98	57,07
Линия 20-516/1	<i>b</i> , <i>I-2</i> , <i>Tm2²</i>	18,03	551,26	66,79
Линия 20-523/1	<i>b</i> , <i>hp-2^{dg}</i> , <i>I-2</i> , <i>Cf-4</i>	31,03	608,36	91,74
Линия 20-524/1	<i>b</i> , <i>hp-2^{dg}</i> , <i>I-2</i>	15,60	540,00	117,80
Линия 20-567/1	<i>nor^A</i> , <i>t</i> , <i>Cf-5</i> ,	0,00	460,32	114,47
Линия 20-569/1	<i>b</i> , <i>I-2</i> , <i>Cf-5</i>	115,02	537,38	125,14
Линия 20-573/1	<i>b</i> , <i>Cf-5</i> , <i>I-2</i>	139,55	340,16	89,12
Линия 20-580/1	<i>b</i> , <i>I-2</i> , <i>Mi 1.2</i> , <i>Cf-4</i> , <i>Cf-5</i>	23,10	838,97	122,19
Линия 20-581/3	<i>b</i> , <i>Sw-5</i> , <i>hp-2^{dg}</i>	29,83	441,50	58,81
Линия 20-585/3	<i>b</i> , <i>Sw-5</i> , <i>Cf-4</i> , <i>Cf-5</i>	6,94	813,20	93,03
Линия 20-591/1	<i>B</i> , <i>Sw-5</i> , <i>I-2</i>	9,86	683,43	94,22
Линия 20-592/3	<i>B</i> , <i>I-2</i> , <i>Sw-5</i>	13,47	440,72	91,75
Линия 20-592/4	<i>B</i> , <i>Sw-5</i> , <i>I-2</i>	61,50	926,79	60,74
Линия 20-620/1	<i>nor</i> , <i>b</i> , <i>hp-2^{dg}</i> , <i>Mi 1.2</i>	0,00	375,60	74,24
Линия 20-620/2	<i>nor</i> , <i>og^c</i> , <i>hp-2^{dg}</i>	85,48	498,81	70,70
НСР ₀₅		12,603	80,026	10,413

При анализе признака «ранняя урожайность» у форм F₄ выделилась Линия 20-506/1 со значением признака на уровне 179,22 ц/га, которое существенно не уступало гетерозисному гибриду Адапт F₁, используемому в качестве раннеспелого урожайного стандарта, и еще шесть скороспелых линий (20-507/1, 20-592/4, 20-510/1, 20-569/1, 20-573/1, 20-620/2) ранняя урожайность которых не уступала или достоверно превосходила значение этого признака у сорта Ирма на 27,4–108,1 %.

В результате изучения проявления признака «общая урожайность» установлено, что достоверно превосходили оба стандартных образца Линия 20-585/3 и Линия 20-592/4, превышение над гибридом составило 125,6–239,19 ц/га или 18,3–34,8 %. Три линии (20-509/1, 20-580/1 и 20-591/1) имели существенное преимущество по анализируемому признаку над стандартным сортом Ирма на 141,59–297,13 ц/га или на 26,1–54,8 %. Общая урожайность еще восьми линий статистически значимо не отличалась от стандарта и составляла от 463,98 до 608,36 ц/га.

Что касается средней массы товарного плода, то все без исключения селекционные линии существенно превосходили сорт Ирма по этому признаку на 24,05-92,12 г и тринадцать из двадцати изучаемых линий – гибрид Адапт F₁ на 12,38-63,62 г. При этом масса плода линий составляла от 57,07 до 125,14 г.

Таким образом, анализ популяций F₄ позволил выделить лучшие формы для дальнейшей селекции на качество плодов и устойчивость к болезням и вредителям: 20-503/1, 20-506/1, 20-509/1, 20-512/1, 20-523/1, 20-524/1, 20-569/1, 20-580/1, 20-585/3, 20-591/1, 20-592/4, 20-620/2. Они обладают потенциа-

лом формирования урожайности до 463,98-926,79 ц/га при средней массе товарного плода 60,74-125,14.

Заключение

По результатам ДНК-анализа на наличие ценных аллелей, а также оценки признаков урожайности в открытом грунте выделен перспективный селекционный материал F₄ для дальнейшей селекции на качество плодов и устойчивость к болезням и вредителям: 20-503/1, 20-506/1, 20-509/1, 20-512/1, 20-523/1, 20-524/1, 20-569/1, 20-580/1, 20-585/3, 20-591/1, 20-592/4, 20-620/2. Данные образцы обладают потенциалом формирования урожайности до 463,98-926,79 ц/га при средней массе товарного плода 60,74-125,14 г.

На основании оценки по комплексу хозяйственно ценных характеристик константных линий F₆-F₇ выделены 7 образцов, сформировавших раннюю урожайность на уровне 53,3–115,1 ц/га, товарную урожайность – 443,0–675,9 ц/га, общую урожайность – 577,2–925,1 ц/га; имеющих плоды массой 38,3–262,3 г с содержанием каротина 15,6–22,5 мг/кг и характеризующихся наличием ценных аллелей (Линия 19-607 – *sp, D, u*; Линия 19-609 – *sp, D, u*; Линия 19-616 – *Sp, D, U*; Линия 19-624 – *sp, D, Cf-2, U*; Линия 19-628 – *sp, D, u*; Линия 19-631 – *sp, D, I-2, u*; Линия 19-647 – *sp, D, Cf-4, u*). Лучшие из них будут переданы для испытания в ГСИ.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор мирового рынка томатов / FRUITNEWS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fruitnews.ru/analytics/49126-obzor-mirovogo-rynka-tomato.html> – Дата доступа: 20.10.2020.
2. Скорина, В. В. Овощеводство: учеб. пособие / В. В. Скорина. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 366 с.
3. Кондратьева, И. Ю. Оранжевоплодные сорта томата с высокими вкусовыми и лечебно-профилактическими свойствами / И. Ю. Кондратьева, М. Р. Енгальчев // Известия ФНЦО, научно-практический журнал. – 2019. – № 2. – С. 71–78.
4. Nutritionally important carotenoids as consumer products / J Berman [et al.] // Phytochem. Rev. – 2015. – Vol. 14. – P. 727–743.
5. Chemistry, Distribution, and Metabolism of Tomato Carotenoids and Their Impact on Human Health / F. Khachik [et al.] // Experimental Biology and Medicine. – 2002. – Vol. 1, №227 (10). P. – 845–851.
6. Гостимский, С. А. Использование молекулярных маркеров для анализа генома растений / С. А. Гостимский, З. Г. Кокаева, В. К., Боброва // Генетика. 1999. №35. – С. 1538–1543.
7. Tanksley, S. D. Mapping polygenes / S. D. Tanksley // ANNU. Rev. Gent. 1993. №27. – P. 205–233.
8. Оценка исходного материала томата методами традиционной и маркер-сопутствующей селекции для создания устойчивых к фитопатогенам гетерозисных гибридов / И. Е. Зайцева [и др.] // Вестн. БГСХА. – 2018. – № 2. – С. 135–139.
9. Методические рекомендации «ДНК-типирование генов качества плодов и устойчивости к болезням томата» / А. В. Кильчевский [и др.]; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Национальная академия наук Беларуси, Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси. – Минск, 2016. – 41 с.
10. Babak O. G., Nekrashevich N. A., Yatskevich K. K., Malyshev S. V., Kilchevsky A. V. Genetic bases of tomato marker-assisted selection in Belarus/ Eurobiotech. Journal. – 2018. – Vol. 2, Is. 2. – P. 128-135, doi:10.2478/ebtj-2018-0017.
11. Микрогаметофитный отбор у томата как инструмент повышения устойчивости к абиотическим (низкие положительные температуры) и биотическим (фузариозное увядание, кладоспориоз) / И. Е. Зайцева [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2018. – №3 (118). – С. 8–12.