

于翠香,谭 化,张海燕,等. 吉林省引进甜瓜种质资源表型遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(7):147-153.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.07.020

# 吉林省引进甜瓜种质资源表型遗传多样性分析

于翠香,谭 化,张海燕,杨贵春,安仕博,赵福顺,徐海钰

(吉林省农业科学院,吉林长春 130033)

**摘要:**种质资源是新品种选育的根本,是解决新品种“卡脖子”问题的基础。吉林省甜瓜种植面积不断增加,存在自主知识产权品种短缺、种质资源遗传背景狭窄的问题,通过引进种质资源、拓宽甜瓜遗传背景、选育突破性品种具有非常重要的意义。通过获取吉林省引进 44 份甜瓜种质资源的 15 个表型性状和光合相关性状数据,利用主成分分析、相关性分析和聚类分析,对种质资源的遗传多样性和亲缘关系进行研究。研究结果表明,44 份引进的甜瓜种质资源果形、果皮覆色、小区产量、单瓜质量等表型性状,瞬时羧化效率、内稔水分利用率和净光合速率等光合性状遗传多样性指数和变异系数较大。气孔导度与单瓜质量和小区产量、净光合速率与可溶性固形物含量均在 0.05 水平上显著相关。主成分分析发现,第 1 主成分主要和甜瓜产量和果实形状有关,第 2 主成分与甜瓜光合效率和单瓜质量有关,第 3 主成分与甜瓜果实外观和果肉颜色相关,第 5 主成分是可溶性固形物,与甜瓜品质性状相关。在欧氏距离为 10 时,将 44 份甜瓜种质资源区分为 5 个类群,在欧氏距离为 5 时,又将每个类群划分为 2~3 个亚类。44 份甜瓜种质资源来源较广、遗传背景和亲缘关系适宜。

**关键词:**吉林省;甜瓜;表型;遗传多样性;种质资源

**中图分类号:**S652.02 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)07-0147-07

甜瓜(*Cucumis melo* L.)为葫芦科甜瓜属二倍体 1 年生草本植物,是重要的经济作物之一。甜瓜具有色、香、味俱佳、营养丰富等较高的经济价值,具有广泛栽培的特点,为世界十大水果之一<sup>[1]</sup>。我国甜瓜产量和面积居世界首位,呈连年递增态势。据国家统计局数据显示,至 2018 年底,我国甜瓜种植面积达 37.61 万  $\text{hm}^2$ 、产量达 1 315.93 万 t、单位面积产量 34 986.61  $\text{t}/\text{hm}^2$ ;而吉林省种植面积达 1.271 万  $\text{hm}^2$ 、产量达 32.41 万 t、单位面积产量 25 502.16  $\text{t}/\text{hm}^2$ ;分别占全国种植面积的 3.38%、占全国产量的 2.46%、单位面积产量是全国的 1.37 倍。吉林省也是全国甜瓜比较重要的种植和销售区域,尤其是本地品种灰鼠子和八里香占比较大,但是吉林省一直存在甜瓜种质资源匮乏、遗传材料少和遗传背景狭窄等问题,此背景下很难选育出突

破性品种。因此,引进优异甜瓜种质资源并明确其遗传背景和遗传距离对于吉林省甜瓜新品种选育、利用和推广具有非常重要的意义。甜瓜无论是质量性状还是数量性状均具有丰富的遗传变异,关于甜瓜种质资源评价研究相关报道较多,但是多集中于地方、本地区品种,也有中国区域内和国际引进甜瓜品种的多样性研究。如闫洪朗等利用 65 个甜瓜品种在江浙沪地区开展果实性状遗传多样性分析<sup>[2]</sup>。王炜勇等在浙江省开展 27 份薄皮甜瓜地方品种的表型遗传多样性研究<sup>[3]</sup>。张永兵等利用 32 个形态性状将 121 份新疆地方甜瓜品种分成 4 个类型和 7 个亚群,将新疆本地名牌品种哈密野瓜单独分成一类,具有完全不同的遗传背景<sup>[4]</sup>。胡建斌等对国外引进种质资源进行表型和分子标记遗传多样性分析,遗传多样性指数均大于 1,组群分布较为广泛,为南亚组群和东北欧等组群,遗传距离长、遗传背景较宽,为新材料遗传改良和新品种选育提供了大量优异资源<sup>[5-6]</sup>。还有通过分子标记手段开展遗传多样性研究,常用的有同工酶<sup>[7]</sup>、RAPD<sup>[8-9]</sup>、AFLP<sup>[10-11]</sup>、SRAP<sup>[12]</sup>、SSR<sup>[13]</sup>等标记类型。最直观和方便的研究集中于表型性状的遗传多样性。目前,针对吉林省引进种质资源开展表型性状和光合作用效率分析方面的遗传多样性研究鲜有报道。

收稿日期:2022-04-30

基金项目:吉林省自然科学基金(联合基金项目)(编号:YDZJ202101ZYT5121);长春市科技发展重点研发计划(编号:21ZGN03)。

作者简介:于翠香(1979—),女,吉林蛟河人,硕士,助理研究员,主要从事蔬菜育种与栽培技术研究。E-mail:593283116@qq.com。

通信作者:赵福顺,研究员,主要从事蔬菜遗传育种和栽培技术研究。

E-mail:zhfs1963@163.com。

以吉林省近几年引进的 44 份甜瓜种质资源为材料,测定果肉主色、单瓜质量和可溶性固形物等 15 个数量和质量性状,净光合速率和 PS II 等 11 个光合相关性状,进行遗传多样性分析,了解光合性状与不同数量性状间的相关性及主成分分析,明确不同来源甜瓜种质资源间的遗传关系,为今后本地区甜瓜种质资源分类研究和遗传改良、新品种选育和再利用提供重要的理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

44 份甜瓜种质资源分别来自于海南省、甘肃省、黑龙江省、辽宁省、吉林省,种质资源编号、名称及来源见表 1。

1.2 试验实施

44 份甜瓜种质资源于 2019 年种植于试验基地露地内,考察其质量性状、数量性状和光合相关性状,分析其遗传多样性。

本试验地点位于吉林省农业科学院经济植物研究所基地,试验基地位置 124°59′42″E,43°39′50″N。试验用土为风干草甸黑土,土壤理化性状:有机质含量为 38.1 g/kg、全氮含量为 1.71 g/kg、有效磷含量为 42.5 mg/kg、速效钾含量为 213 mg/kg、缓效钾含量为 746 mg/kg、pH 值为 5.5 ~ 6.5。施有机肥(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O) ≥ 5%、有机质 ≥ 70%,70 g;生物炭基复合肥(N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O) ≥ 45%,N : P : K = 13 : 12 : 20,15 g。

1.3 测定与分析

参照中华人民共和国农业行业标准 NY/T 2236—2012《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 甜瓜》《甜瓜种质资源描述规范和数据标准》开展质量和数量性状调查,在开花期每个甜瓜种质资源随机选取 5 份,测量叶柄长、节间长、顶端裂片长度、果柄长度;质量性状采用直接观察法,包括果皮底色、果肉主色、瓜瓢颜色、果形、果皮覆色、果面覆纹颜色、果面覆纹形状和叶柄姿态;收获期测量单瓜质量、小区产量和可溶性固形物含量。

光合相关指标:试验仪器为 LI-6800 新一代光合-荧光全自动测量系统(LI-COR 美国),选取晴天无风天气 09:00—11:00,设定光强度 1 000 μmol/(m<sup>2</sup> · s),温度 25 ℃,湿度 60%,测量净光合速率[*P<sub>n</sub>*, μmol/(m<sup>2</sup> · s)]、气孔导度[*G<sub>s</sub>*, mol/(m<sup>2</sup> · s)]、蒸腾速率[*T<sub>r</sub>*, mmol/(m<sup>2</sup> · s)]、胞

表 1 甜瓜种质资源编号及来源

编号	名称	来源
1	灰鼠子	黑龙江省
2	XS-15-28-7	辽宁省
3	DG-2018-P3	辽宁省
4	M2012-9	吉林省
5	M2010-1	黑龙江省
6	M2010-5	黑龙江省
7	HW-B-1	吉林省
8	14-04B	辽宁省
9	DG-2014-71	辽宁省
10	DG-2014-44	辽宁省
11	G-15-01	辽宁省
12	XS-15-3012-1	辽宁省
13	D-15-1B 春雨	海南省
14	DG-2014-93	辽宁省
15	HN-3	辽宁省
16	3270B	海南省
17	假白宝(红)	吉林省
18	2010-10	黑龙江省
19	DG-2018-P3	辽宁省
20	14-04A	海南省
21	HM1402 ♂	甘肃省
22	HM1402 ♀	甘肃省
23	L31 ♀	辽宁省
24	D-15-2B ♂	辽宁省
25	D-15-2A ♀	辽宁省
26	3-A(甜帅)	海南省
27	百里香 SR	辽宁省
28	泽甜 4 母本	辽宁省
29	上东沟	吉林省
30	八里香富田	吉林省
31	DG-2014-39	辽宁省
32	HW-八里香-3	吉林省
33	M2012-11	吉林省
34	八里香富田-1	辽宁省
35	八里香富田-10	辽宁省
36	M3160A	甘肃省
37	恒祥-1	甘肃省
38	恒-2	甘肃省
39	恒-3	甘肃省
40	恒-4	甘肃省
41	恒-5	甘肃省
42	M1406	甘肃省
43	M1719	甘肃省
44	昊天灰鼠瓜	黑龙江省

间 CO<sub>2</sub> 浓度 (C<sub>i</sub>, μmol/mol)、大气环境 CO<sub>2</sub> 浓度 (C<sub>a</sub>)、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>、PS(Ⅱ)参数,并计算气孔限制值(L<sub>s</sub>) = 1 - C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>、内禀水分利用效率[ i<sub>wue</sub>, ( mmol/mol) ] = P<sub>n</sub>/G<sub>s</sub>、瞬时羧化效率 (C<sub>E</sub>, μmol/mol) = P<sub>n</sub>/C<sub>i</sub>、ETR = PS( Ⅱ ) × PAR × 0.84 × 0.5。

1.4 数据分析

利用 Excel 2016 整理数据,通过 SPSS 19.0 进行描述性统计分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析,对数量性状的数据进行平均值、标准差、变异系数分析,对质量性状数据进行分布频率及遗传多样性指数分析,其中遗传多样性指数的分析利用 Shannon - Wiener 多样性指数 (H') 公式计算<sup>[14]</sup>;主成分分析采用最大方差法,取特征值大于 1 的特征根;聚类分析采用系统聚类组间联接欧氏距离法对甜瓜种质资源进行聚类。对形态学质量性状进行分类赋值(表 2)。

2 结果与分析

2.1 甜瓜种质资源的质量性状和数量性状

2.1.1 甜瓜种质资源质量性状遗传多样性 通过甜瓜质量性状观察分析(表 3),种质资源质量性状的 Shannon - Wiener 多样性指数 (H') 变化范围为 0.902 3 ~ 3.522 2, H'最大的是果形、以梨形和椭圆

表 2 甜瓜种质资源调查的分类及赋值

性状	分类及赋值
果皮底色	白色 = 1, 绿色 = 2, 灰绿色 = 3, 黄色 = 4
果皮覆色	有 = 1, 无 = 2
果面覆纹颜色	黄色 = 1, 绿色 = 2, 浅绿色 = 3, 深绿色 = 4, 无 = 5
果面覆纹形状	斑点 = 1, 斑块 = 2, 断续条带 = 3, 无 = 4
果肉主色	白色 = 1, 绿色 = 2, 橙色 = 3, 绿白色 = 4, 浅橙色 = 5
瓢色	白色 = 1, 绿色 = 2, 橙色 = 3, 粉色 = 4, 黄绿色 = 5, 浅绿色 = 6, 浅橙色 = 7
果形	棒形 = 1, 梨形 = 2, 卵形 = 3, 圆形 = 4, 扁圆形 = 5, 椭圆形 = 6, 纺锤形 = 7
叶柄姿态	直立 = 1, 半直立 = 2, 水平 = 3

形为主,分布频率为 34.10% 和 27.30%。H'最小的是果肉主色,以白色和绿色为主,所占频率为 43.20% 和 20.50%。甜瓜果皮底色以白色和绿色为主,所占频率为 52.30% 和 25.00%。果皮覆色以有色最多,分布频率为 68.19%。果面覆纹颜色以黄色和无色为主,所占频率为 31.81% 和 31.82%。果面覆纹形状以斑点和无形状为主,所占频率为 31.82% 和 31.81%。瓢色以橙色和白色为主,所占频率为 47.70% 和 27.30%。叶柄姿态以半直立为主,分布频率 63.64%。

表 3 甜瓜种质资源表型性状频率分布

性状	分布频率 (%)							多样性指数
	1	2	3	4	5	6	7	
果皮底色	52.30	25.00	4.50	18.20				1.637 7
果皮覆色	68.19	31.81						2.083 4
果面覆纹颜色	31.81	25.00	6.80	4.55	31.82			2.017 9
果面覆纹形状	31.82	27.28	9.09	31.81				1.877 0
果肉主色	43.20	20.50	9.00	11.40	15.90			0.902 3
瓢色	27.30	4.55	47.70	4.55	4.55	4.55	6.80	1.789 3
果形	2.30	34.10	4.50	9.10	13.60	27.30	9.10	3.522 2
叶柄姿态	25.00	63.64	11.36					1.271 4

2.1.2 甜瓜种质资源数量性状的变异 从表 4 可以看出,甜瓜种质资源数量性状差异不一致,光合相关性状除胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、表型性状除顶端裂片长度、叶柄长和果柄长度变异系数 < 15.00% 外,其余数量性状变异系数为 16.97% ~ 61.33%。变异系数 > 40% 的性状分别为瞬时羧化效率 61.33%、小区产量 58.93%、瞬时水分利用率 53.96%、内禀水分利用率 50.97%、单瓜质量 46.19%、净光合速率

43.93%。综合分析表明,甜瓜种质资源数量性状间具有一定变异性,不同种质资源性状之间也具有较为明显的遗传多样性。

2.2 相关性分析

对 44 份甜瓜种质资源进行相关性分析(表 5)表明,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与蒸腾速率、气孔导度分别在 0.01 水平和 0.05 水平上呈显著正相关,与净光合速率、瞬时水分利用效率、气孔限制值、瞬时羧化效

表 4 甜瓜种质资源数量性状分析结果

项目	最小值	最大值	均值	方差	标准差	变异系数 (%)
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度(μmol/mol)	124.00	296.00	228.00	1872.98	43.28	18.98
蒸腾速率[mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	1.26	6.31	3.49	1.04	1.02	29.27
气孔导度[mmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	0.06	0.48	0.27	0.01	0.10	36.39
净光合速率[μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]	2.43	21.37	10.16	19.93	4.46	43.93
瞬时水分利用率(g/kg)	0.72	8.10	3.20	2.98	1.73	53.96
气孔限制值	0.09	0.63	0.32	0.02	0.12	39.17
瞬时羧化效率(μmol/mol)	0.01	0.16	0.05	0.00	0.03	61.33
内禀水分利用率(mmol/mol)	8.41	110.67	41.94	456.95	21.38	50.97
SPAD 值	16.40	40.40	25.19	27.68	5.26	20.88
PS II	0.14	0.66	0.40	0.02	0.12	30.52
ETR	24.40	201.70	117.68	1 986.39	44.57	37.87
叶柄长(cm)	10.40	18.70	13.81	3.32	1.82	13.19
节间长(cm)	4.10	9.50	6.23	1.12	1.06	16.97
顶端裂片长度(cm)	5.30	8.04	6.29	0.45	0.67	10.70
果柄长度(cm)	3.00	4.65	4.00	0.15	0.38	9.53
单瓜质量(kg)	0.20	1.08	0.44	0.04	0.20	46.19
小区产量(kg)	2.57	34.08	10.93	41.50	6.44	58.93
可溶性固形物含量(%)	0.00	18.40	12.64	9.29	3.05	24.11

表 5 甜瓜种质资源数量性状相关系数

项目	相关系数																	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>
X <sub>1</sub>	1.000	0.477 **	0.379 *	-0.626 **	-0.785 **	-0.984 **	-0.802 **	-0.952 **	0.208	-0.116	0.058	0.068	-0.001	0.134	-0.042	0.280	-0.205	-0.030
X <sub>2</sub>		1.000	0.345 *	-0.096	-0.577 **	-0.425 **	-0.256	-0.507 **	0.249	-0.089	0.002	-0.039	-0.004	0.043	-0.269	0.288	0.059	0.000
X <sub>3</sub>			1.000	0.406 **	0.086	-0.325 *	0.116	-0.524 **	0.088	0.098	0.100	0.189	0.203	0.349 *	0.026	0.316 *	0.113	-0.202
X <sub>4</sub>				1.000	0.833 **	0.690 **	0.912 **	0.472 **	-0.111	0.152	-0.018	0.170	0.262	0.144	0.085	0.006	0.300 *	-0.152
X <sub>5</sub>					1.000	0.820 **	0.888 **	0.713 **	-0.172	0.137	0.014	0.151	0.251	0.089	0.244	-0.131	0.223	-0.136
X <sub>6</sub>						1.000	0.836 **	0.959 **	-0.188	0.083	-0.029	-0.024	0.075	-0.080	0.058	-0.249	0.225	-0.023
X <sub>7</sub>							1.000	0.672 **	-0.121	0.149	-0.055	0.125	0.209	0.002	0.162	-0.157	0.259	-0.095
X <sub>8</sub>								1.000	-0.190	0.025	0.000	-0.064	0.024	-0.119	0.056	-0.291	0.161	-0.007
X <sub>9</sub>									1.000	-0.004	0.013	-0.143	-0.015	0.061	-0.201	0.093	0.006	-0.111
X <sub>10</sub>										1.000	-0.261	-0.107	0.137	0.291	0.246	-0.147	-0.007	0.177
X <sub>11</sub>											1.000	0.038	0.060	0.011	-0.018	0.137	0.142	-0.100
X <sub>12</sub>												1.000	0.312 *	0.341 *	0.043	0.403 **	-0.259	0.272
X <sub>13</sub>													1.000	0.408 **	0.086	0.260	-0.151	-0.066
X <sub>14</sub>														1.000	0.237	0.268	-0.127	-0.066
X <sub>15</sub>															1.000	0.021	0.283	-0.170
X <sub>16</sub>																1.000	0.049	0.473 *
X <sub>17</sub>																	1.000	-0.152
X <sub>18</sub>																		1.000

注:X<sub>1</sub>:胞间 CO<sub>2</sub> 浓度;X<sub>2</sub>:蒸腾速率;X<sub>3</sub>:气孔导度;X<sub>4</sub>:净光合速率;X<sub>5</sub>:瞬时水分利用效率;X<sub>6</sub>:气孔限制值;X<sub>7</sub>:瞬时羧化效率;X<sub>8</sub>:内禀水分利用率;X<sub>9</sub>:SPAD 值;X<sub>10</sub>:PS II;X<sub>11</sub>:ETR;X<sub>12</sub>:叶柄长;X<sub>13</sub>:节间长;X<sub>14</sub>:顶端裂片长度;X<sub>15</sub>:果柄长度;X<sub>16</sub>:小区产量;X<sub>17</sub>:可溶性固形物含量;X<sub>18</sub>:单瓜质量。

率和内禀水分利用率在 0.01 水平上呈显著负相关。叶柄长与小区产量在 0.01 水平上呈显著正相关,与节间长和顶端裂片长度在 0.05 水平上呈显著正相关。节间长与顶端裂片长度在 0.01 水平上呈显著正相关。小区产量与气孔导度、单瓜质量在 0.05 水平上呈显著正相关。可溶性固形物含量与净光合速率在 0.05 水平上呈显著正相关。各性状相关分析表明,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度越大,蒸腾速率和气孔导度越大、其余几个光合指数越小,气孔导度越大、小区

产量越高,净光合速率越大、可溶性固形物含量越高(甜瓜越甜)。说明通过适当增加光合作用可以促进甜瓜产量的提高和增加口感。因此,根据数量性状相关性为甜瓜品种改良和应用提供理论依据。

2.3 主成分分析

主成分选择主要依据特征值和贡献率,以特征值大于 1 为标准提取成分<sup>[15]</sup>。从表 6 可以看出,前 10 个主成分的累计贡献率达 83.873%,意味着这 10 个主成分能代表甜瓜所有性状的遗传信息。

表 6 甜瓜种质资源性状的主成分分析

指标	主成分									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
胞间 CO <sub>2</sub> 浓度	-0.024	-0.032	0.139	-0.334	-0.266	-0.442	0.596	-0.274	0.009	0.078
蒸腾速率	-0.267	-0.290	0.489	0.296	0.181	0.043	0.547	0.174	0.203	-0.064
气孔导度	0.234	-0.122	0.142	-0.212	-0.498	0.217	0.438	0.229	-0.299	-0.235
净光合速率	-0.036	-0.193	0.109	0.585	0.338	0.291	0.402	-0.072	-0.105	0.265
瞬时水分利用率	0.252	0.001	0.017	-0.362	0.492	0.129	0.248	-0.459	0.114	0.501
气孔限制值	-0.226	0.844	0.234	0.023	-0.064	-0.015	0.229	0.011	-0.073	-0.149
瞬时羧化效率	0.062	0.539	-0.119	0.468	0.248	-0.006	0.187	0.135	-0.309	0.035
内禀水分利用率	0.170	0.372	-0.131	-0.227	0.063	0.056	0.148	0.478	0.586	0.039
SPAD 值	0.892	0.151	-0.245	0.173	-0.034	-0.050	0.143	0.054	0.021	0.092
PS II	0.202	-0.163	0.243	-0.292	-0.175	0.727	0.100	-0.213	0.093	0.138
ETR	-0.205	0.859	0.208	-0.146	-0.109	-0.004	0.073	-0.097	0.126	-0.082
叶柄长	0.042	0.107	-0.091	0.117	0.102	-0.071	0.060	0.957	0.024	0.015
节间长	-0.238	-0.179	-0.119	-0.075	0.462	0.458	0.042	0.564	0.089	-0.474
顶端裂片长度	-0.243	0.003	0.029	-0.144	0.212	-0.203	0.013	0.525	-0.410	0.377
果柄长度	0.042	-0.451	0.475	0.423	-0.266	-0.169	-0.007	-0.049	0.119	-0.204
小区产量	0.924	-0.026	0.264	-0.069	-0.013	-0.023	-0.015	0.002	-0.122	-0.097
可溶性固形物	-0.563	0.000	0.195	0.008	0.552	-0.209	-0.038	-0.012	0.156	0.065
单瓜质量	-0.141	0.888	0.292	0.109	0.032	0.005	-0.015	-0.119	0.011	-0.113
果皮底色	-0.941	-0.150	0.168	-0.140	-0.083	0.020	-0.058	-0.042	-0.041	0.018
果肉主色	-0.087	0.021	0.648	-0.055	-0.164	-0.022	-0.096	-0.335	0.179	-0.132
瓜瓤颜色	-0.047	-0.062	0.685	0.083	-0.180	0.174	-0.101	0.188	-0.104	0.176
果形	0.749	-0.068	0.459	-0.099	0.346	-0.140	-0.120	-0.022	-0.059	-0.166
果皮覆色	0.883	-0.011	0.253	-0.062	0.235	-0.082	-0.121	-0.011	0.015	-0.118
果面覆纹颜色	-0.216	-0.056	0.744	-0.257	0.318	-0.116	-0.131	-0.112	-0.194	-0.226
果面覆纹形状	0.140	-0.085	0.598	0.076	-0.212	-0.211	-0.137	0.244	0.351	0.335
叶柄姿态	0.128	0.427	0.334	0.115	-0.133	0.453	-0.328	-0.031	-0.068	0.527
特征值	5.695	3.326	2.779	1.906	1.871	1.529	1.417	1.171	1.067	1.046
贡献率(%)	21.904	12.792	10.689	7.330	7.197	5.882	5.449	4.502	4.103	4.024
累计贡献率(%)	21.904	34.696	45.385	52.715	59.912	65.794	71.243	75.745	79.849	83.873

第 1 主成分特征值为 5.695、贡献率为 21.904%,主要包含的性状有小区产量、果形、果皮覆色,其特征向量分别为 0.749~0.924,这类性状主要和甜瓜产量和果实形状有关。第 2 主成分特征

值 3.326、贡献率为 12.792%,主要包括气孔限制值、ETR、单瓜质量,与甜瓜光合效率和单瓜质量有关。第 3 主成分特征值为 2.779、贡献率为 10.689%,主要包括果面覆纹颜色、果面覆纹形状、

瓜瓢颜色和果肉主色等性状,与甜瓜果实外观和果肉颜色相关。第 4 主成分是净光合速率。第 5 主成分是可溶性固形物。第 6 主成分是 PS II。第 7 主成分是胞间  $\text{CO}_2$  浓度和蒸腾速率。第 8 主成分是叶柄长、节间长和顶端裂片长度,主要与叶片形状有关。第 9 主成分是内禀水分利用率。第 10 主成分是气孔限制值和叶柄姿态。

## 2.4 聚类分析

由图 1 可以看出,在欧氏距离为 10 时,可以将 44 份甜瓜种质资源分为 5 类。其中,第 1 类群包含灰鼠子和百里香等 16 份种质资源,占比 36.36%,该类种质资源来源较广,小区产量较高、可溶性固形物含量偏高,口感好,很受市场欢迎,可作为改良甜瓜产量或品质改良的目标亲本加以利用。第 2 类群包含恒祥-1 和 M1402 等 10 份种质资源,占比 22.73%,来源以甘肃酒泉为主,此类种质资源多表现为光合作用较强,叶柄粗壮和肉色适宜等优良性状,可作为高光效类型种质资源加以改良利用。第 3 类群主要包含 XS-15-28-7 和 L31 等 11 份种质资源,占比 25.00%,来源较广,以辽宁东港为主,此类种质资源单瓜质量较优,外观较好。第 4 类群仅包含 2 个种质资源,占比 4.55%,均来源于海南省,表现为果柄和叶柄较长、单瓜质量偏小。第 5 类群包含 5 个种质资源,占比 11.36%,此类种质资源来源较广,可溶性固形物含量较低、口感不好、光合效率普遍较低。

在欧氏距离为 5 时,第 1 类群、第 2 类群和第 3 类群又可分别划分 3 个亚类,第 4 类群可划分 2 个亚类。可对甜瓜种质资源进一步细致的区分。

## 3 讨论与结论

作物表型性状是由品种本身遗传和生态环境因素互作产生的结果,种质资源间的亲缘关系可由遗传多样性指数和变异系数来表示,遗传多样性是种质资源研究生物进化和新品种选育的基础。相关研究发现,遗传多样性指数越高,资源对环境的适应性程度越强;变异系数可反映物种在适应环境过程中产生的变异,变异系数越大,表明获得优良资源的可能性越大<sup>[15-18]</sup>。因此,通过对生物学性状遗传多样性的探索,可以全方位地了解所掌握资源的程度。目前,虽然分子标记手段<sup>[19-20]</sup>已应用到作物种质资源评价和鉴定研究当中,但最基本的形态学依然是种质资源研究最基本的方法和手段<sup>[21-23]</sup>。

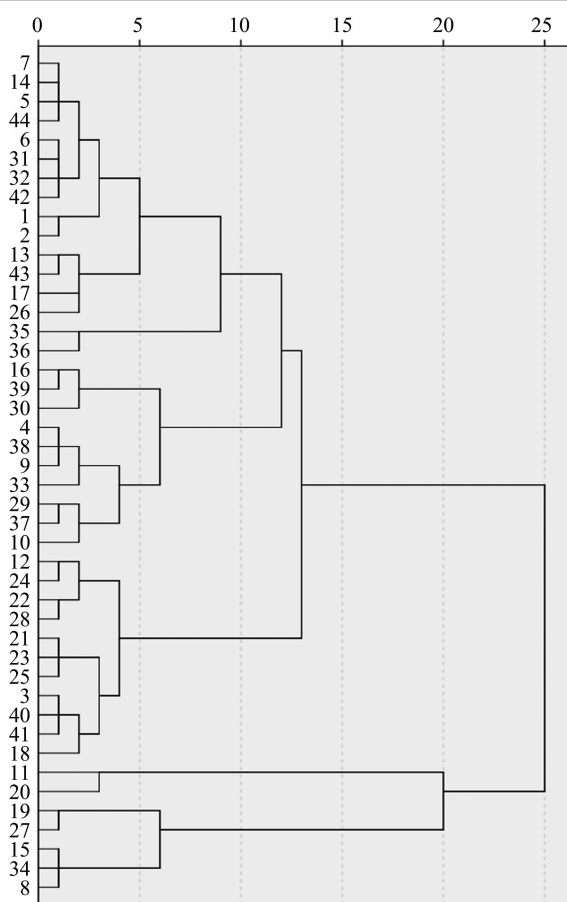


图1 44 份甜瓜种质资源聚类分析

本研究通过表型性状遗传多样性分析发现,遗传多样性指数( $H'$ )除果肉主色(0.902 3)外均 $>1$ ,果形最大,为 3.522 2;变异系数 $>40\%$ 的表型性状主要有小区产量和单瓜质量;变异系数 $>40\%$ 的光合性状有瞬时羧化效率、瞬时水分利用率、内禀水分利用率和净光合速率;表明吉林省引进的 44 份甜瓜种质资源表型性状变异较为丰富,结果与前人研究结论<sup>[4-6]</sup>较为一致。

本研究发现,叶柄长与小区产量、节间长与顶端裂片长度在 0.01 水平上显著,叶柄长与节间长和顶端裂片长度、小区产量与单瓜质量在 0.05 水平上相关性显著。与栾非时等的相关研究结果<sup>[24-26]</sup>相似。此外本研究在关注光合效率与产量、品质间相关性时发现,气孔导度与单瓜质量和小区产量、净光合速率与可溶性固形物含量均在 0.05 水平上显著相关。说明适当增加光照可以起到提质增效的效果,同时,汤謐等研究指出,净光合速率高的甜瓜品种,在可溶性固形物和蔗糖等积累上较其他品种高<sup>[27-28]</sup>。

本研究对 44 份甜瓜种质资源表型性状和光合

相关性状进行主成分分析时发现,第 1 主成分主要和甜瓜产量和果实形状有关。第 2 主成分与甜瓜光合效率和单瓜质量有关。第 3 主成分与甜瓜果实外观和果肉颜色相关。第 5 主成分是可溶性固形物含量,与甜瓜品质性状相关。在今后对种质资源创新利用时,可以充分考虑主成分及相关性分析,并协调好第 1 主成分、第 2 主成分、第 3 主成分和第 5 主成分间的关系,以期创造优异新材料和优良新品种。

王炜勇等通过形态学聚类分析,将 27 份薄皮甜瓜按生育期区分为 2 类,在亚类上注重质量性状及相关性的考察<sup>[3,29]</sup>。张永兵等利用表型性状对新疆地方甜瓜品种聚类突破性研究时发现,哈密野瓜与其他地方品种亲缘关系最远,可能属于野生甜瓜亚种<sup>[4]</sup>。本研究利用表型性状并参考光合相关性状,在欧氏距离为 10 时,将 44 份甜瓜种质资源区分为 5 个类群,在欧氏距离为 5 时,又将每个类群划分为 2~3 个亚类。44 份甜瓜种质资源来源较广、遗传背景和亲缘关系适宜。

吉林省引进的 44 份甜瓜种质资源的果实性状在单瓜质量、小区产量、果形、瓢色和果实品质的可溶性固形物含量方面具有较为明显的遗传差异,遗传多样性较为丰富,对后续遗传改良、创制新材料和选育新品种具有较大的潜力。

#### 参考文献:

- [1] 林德佩. 中国栽培甜瓜植物的起源、分类及进化[J]. 中国瓜菜, 2010,23(4):34-36.
- [2] 闫洪朗,王 康,何林池,等. 江浙沪地区甜瓜品种果实性状遗传多样性分析[J]. 南方农业学报,2018,49(10):2001-2006.
- [3] 王炜勇,俞少华,李鲁峰,等. 浙江省薄皮甜瓜地方品种的表型遗传多样性[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(3):448-454.
- [4] 张永兵,李寐华,吴海波,等. 新疆甜瓜地方品种资源的表型遗传多样性[J]. 园艺学报,2012,39(2):305-314.
- [5] 胡建斌,马双武,李建吾,等. 国外甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. 植物学报,2013,48(1):42-51.
- [6] 张凯歌,胡倩梅,靳志恒,等. 219 份甜瓜种质资源的遗传多样性分析[J]. 河南农业大学学报,2020,54(2):216-230.
- [7] Akashi Y, Fukuda N, Wako T, et al. Genetic variation and phylogenetic relationships in East and South Asian melons, *Cucumis melo* L., based on the analysis of five isozymes[J]. Euphytica, 2002,125(3):385-396.
- [8] Sensoy S, Büyükalaca S, Abak K. Evaluation of genetic diversity in Turkish melons (*Cucumis melo* L.) based on phenotypic characters and RAPD markers[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2007,54(6):1351-1365.
- [9] Yi S S, Akashi Y, Tanaka K, et al. Molecular analysis of genetic diversity in melon landraces (*Cucumis melo* L.) [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2009,56(8):1149.
- [10] 程振家,王怀松,张志斌,等. 甜瓜遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 西北植物学报,2007,27(2):244-248.
- [11] 徐志红,徐永阳,刘君璞,等. 甜瓜种质资源遗传多样性及亲缘关系研究[J]. 果树学报,2008,25(4):552-558.
- [12] 陈 芸,李 冠,王贤磊. 甜瓜种质资源遗传多样性的 SRAP 分析[J]. 遗传,2010,32(7):744-751.
- [13] Fergany M, Kaur B, Monforte A J, et al. Variation in melon (*Cucumis melo*) landraces adapted to the humid tropics of southern India[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2011,58(2):225-243.
- [14] 魏仕伟,杨 华,张前荣,等. 基于表型性状的叶用莴苣资源多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2016,17(5):871-876.
- [15] 郝 峰,徐 柱,李 平,等. 雀麦属 13 种植物形态遗传多样性研究[J]. 中国草地学报,2011,33(2):17-24.
- [16] 张向前,刘景辉,齐冰洁,等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(2):168-174.
- [17] 王 娟,李荫藩,梁秀芝,等. 北方主栽燕麦品种种质资源形态多样性分析[J]. 作物杂志,2017(4):27-32.
- [18] 朱凌丽,徐 建,姚协丰,等. 厚皮甜瓜种质质茎枯病抗性评价与遗传多样性分析[J]. 江苏农业学报,2021,37(2):454-464.
- [19] 张赤红,曹永生,宗绪晓,等. 普通菜豆种质资源形态多样性鉴定与分类研究[J]. 中国农业科学,2005,38(1):27-32.
- [20] 朱永鹏. 菜豆遗传多样性的形态学和 ISSR 分析[D]. 雅安:四川农业大学,2013:1-4.
- [21] 贺晨帮,宗绪晓. 豌豆种质资源形态标记遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(1):42-48.
- [22] 郁香荷,章秋平,刘威生,等. 中国李种质资源形态性状和农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2011,12(3):402-407.
- [23] 郭丽芬,徐宁生,张 跃,等. 云南红花种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(2):219-225.
- [24] 栾非时,矫士琦,盛云燕,等. 甜瓜果实相关性状 QTL 分析[J]. 东北农业大学学报,2017,48(3):1-9.
- [25] 周慧文. 甜瓜果实性状表型分析及其 CAPS 标记的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2016:25-30.
- [26] 侯 艳. 甜瓜 SNP-CAPS 标记的开发与主要果实性状 QTL 分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2017:65-71.
- [27] 汤 谧,别之龙,张保才,等. 风味 3 号甜瓜光合特性和果实品质研究初报[J]. 华中农业大学学报,2008,27(3):426-429.
- [28] 柳 涛,何启伟,邢禹贤,等. 日光温室厚皮甜瓜光合特性研究[J]. 中国西瓜甜瓜,2003,16(5):8-10.
- [29] Ali - Shtayah M S, Jamous R M, Shtaya M J, et al. Morphological characterization of snake melon (*Cucumis melo* var. *flexuosus*) [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2017,64(1):7-22.