

范惠冬,郑士金,郑建超,等. 74 份大果番茄种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 江苏农业科学,2023,51(15):121-129.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.15.018

74 份大果番茄种质资源表型性状遗传多样性分析及综合评价

范惠冬,郑士金,郑建超,田松,许世霖,刘井莉

(吉林省蔬菜花卉科学研究院,吉林长春 130033)

摘要:为挖掘优良番茄亲本,全面了解 74 份大果番茄种质资源表型性状遗传多样性,对番茄种质的 34 个表型性状进行遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析及综合评价。结果表明,74 份大果番茄种质有丰富的表型性状遗传多样性,各性状均有较高度度的变异。其中,质量性状遗传多样性指数变化范围为 0.072 ~ 1.382,遗传多样性指数最大的是胶状物颜色(1.382);数量性状遗传多样性指数变化范围为 1.066 ~ 2.048,遗传多样性指数最大的是单花序果数(2.048);数量性状变异系数变化范围为 12.46% ~ 47.27%,其中,果形指数变异系数最大(47.27%)。14 个数量性状之间相关性复杂多样。提取前 9 个特征值大于 1.000 的主成分累计贡献率达到 71.750%,表明前 9 个主成分已涵盖全部指标绝大部分信息。其中,第 1 主成分的贡献率最大,为 17.363%,其他主成分贡献率依次递减。采用聚类分析,在欧氏距离为 5.485 处将 74 份大果番茄种质分为 11 个组群,第 1 组群番茄种质最多,为 47 份,此组群番茄品质佳,口感甜酸,可用于优质番茄新品种的培育;第 2、第 3、第 7、第 8、第 10、第 11 组群均只包含 1 份番茄种质,可作为特殊种质加以利用。采用隶属函数法进行综合评价,各种质得分范围为 -0.672 ~ 0.935,成功筛选出 3 份综合得分较高的种质 JL035、JL034、JL028。研究表明,74 份大果番茄的种质资源表型性状遗传多样性丰富,且包含 6 份特殊种质,综合评价得分最高的 3 份种质资源可作为核心种质利用。

关键词:番茄;种质资源;遗传多样性;聚类分析;综合评价;主成分分析

中图分类号:S641.202 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)15-0121-09

番茄(*Solanum lycopersicum*)别称西红柿,是多汁浆果,原产于南美洲,为茄科严格自花授粉植物,一年生或多年生。栽培番茄由于多年选育和驯化遗传背景逐渐变窄,对栽培番茄进行种质资源调查研究,了解种质资源多样性、遗传变异情况、开展种质资

源综合评价是种质资源保护和合理选配的基础。

植物表型多样性是由植物遗传多样性和环境多样性之间复杂的相互作用而产生的,具有重要的生物学研究意义,同时也在深入研究和利用种质资源中加以利用^[1-2]。在番茄^[3-4]、甘薯^[5]、水稻^[6]、苹果^[7]、猕猴桃^[8]等多种作物种质资源的研究中已广泛使用相关性分析、遗传多样性分析及聚类分析等相关研究方法,并取得了较好的研究结果。通过对 47 份大果番茄种质资源表型性状遗传多样性进行分析,芮文婧等发现,花柱长度变异系数在数量

收稿日期:2022-11-13

基金项目:吉林省财政厅公益类行业专项。

作者简介:范惠冬(1990—),女,吉林长春人,硕士,助理研究员,主要从事蔬菜遗传育种工作。E-mail:fanhuidong1812@163.com。

[33]王文丽,靳海波,李娟,等. 生物有机肥料对连作马铃薯根际营养及生长发育的影响[J]. 中国土壤与肥料,2018(6):187-191.

[34]王小龙,刘凤之,史祥宾,等. 不同有机肥对葡萄根系生长和土壤养分状况的影响[J]. 华北农学报,2019,34(5):177-184.

[35]李大荣,杨文港,向嘉. 丛枝菌根对植物营养元素吸收及生长影响的研究进展[J]. 南方农业,2018,12(27):143-145.

[36]马凤捷. 不同放线菌剂对连作哈密瓜产量、品质及土壤理化性质的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2020:37-50.

[37]徐池明. 生物有机肥料对苹果树根际微生物群及生长结果的影响[J]. 烟台果树,2022(2):12-14.

[38]王俊红,王星琳,王康,等. 生物有机肥替代化肥对小麦根际

土壤环境的影响[J]. 华北农学报,2021,36(4):155-162.

[39]卢钰升,顾文杰,李集勤,等. 化肥有机替代对烤烟产质量、土壤理化性质及酶活性的影响[J]. 中国农学通报,2020,36(16):22-27.

[40]刘铠鸣. 生物有机肥提高东北黑土肥力和生物活性的研究[D]. 南京:南京农业大学,2020:35-53.

[41]于会丽,徐变变,徐国益,等. 生物有机肥对苹果幼苗生长、生理特性以及土壤微生物功能多样性的影响[J]. 中国农学通报,2022,38(1):32-38.

[42]李亮. 生物有机肥在猕猴桃生产上的应用效果[J]. 广东蚕业,2020,54(8):56-57.

性状中最大,为 44.14%,叶片长变异系数最小,为 8.15%,数量性状多样性指数(H')平均值为 1.92;质量性状 H' 平均值为 0.64,参试材料被分为 4 个组群^[9]。赵云霞等在对 246 份番茄种质表型性状分析中发现,叶片着生状态 H' 最高,为 2.46,单果质量变异系数最大,为 57.86%,供试材料遗传多样性丰富;前 9 个主成分累计贡献率达 66.18%,在遗传距离为 10.0 处将供试种质划分为 4 个大组群^[10]。

目前的研究较多针对于表型性状遗传多样性开展,而对于种质进行综合评价的研究较少。对种质资源进行综合评价能更直观地筛选出综合性状

优良的亲本,加速番茄新品种选育。本研究通过对 74 份大果番茄的 20 个质量性状,14 个数量性状进行遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析及综合评价,加速综合性状高的番茄种质的筛选,为番茄育种提供优良亲本。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为由吉林省蔬菜花卉科学研究院番茄育种课题组保存的 74 份大果番茄材料,详见表 1。

表 1 番茄种质资源编号、名称

编号	品种名称	编号	品种名称	编号	品种名称
JL01	GT4B	JL026	DMST12	JL051	BN12-4
JL02	17-11-21	JL027	DMST56	JL052	DG241
JL03	11T97	JL028	KLI08	JL053	SD3G
JL04	1212S6	JL029	FB384	JL054	KSD-1-1
JL05	12BY71	JL030	KSKR20	JL055	23-E34
JL06	2312101	JL031	GER02	JL056	DH6M
JL07	WG281	JL032	GER13	JL057	DH5B-1
JL08	45T9601	JL033	CMER1-4	JL058	MM34H
JL09	GTA1	JL034	23号	JL059	45号
JL010	GMT1A	JL035	24号	JL060	12548
JL011	131-5	JL036	JNM12	JL061	13234
JL012	45T293	JL037	STY92	JL062	12467
JL013	BT961	JL038	STY12	JL063	14612
JL014	12-98	JL039	BTT-1	JL064	203B2
JL015	1212M7	JL040	SER15	JL065	SYK3
JL016	WDS12	JL041	DEFR15	JL066	MQH2L
JL017	BD12601	JL042	DS10-2	JL067	BMNS23T6
JL018	BD12613	JL043	DW12	JL068	BSMJ22
JL019	MK7102	JL044	DW1-1	JL069	BZN5T
JL020	MK0110	JL045	12号	JL070	67号
JL021	HJ005	JL046	07号	JL071	09号
JL022	HL060	JL047	04号	JL072	GHD4E
JL023	BT018	JL048	12-34	JL073	NDF4W
JL024	BT029	JL049	SGK-4	JL074	DTSR3-5
JL025	MS18012	JL050	BN-3		

1.2 试验方法

试验材料于 2022 年 3 月 10 日于吉林省蔬菜花卉科学研究院育苗温室进行播种,2022 年 4 月 25 日于吉林省蔬菜花卉科学研究院大棚试验地进行定植。每份材料定植 15 株,采用随机区组,双畦定植,畦宽 1.2 m,畦长 5.5 m,设置 3 次重复,田间常规管理。

1.3 观测项目及记录标准

在番茄整个生育期进行性状调查,以第 2 穗和第 3 穗果实成熟期为主,选取 10 株长势均匀具有代表性的番茄种质调查,共调查 34 个表型性状。

20 个质量性状指标,分别为叶片类型、生长习性、生长势、绿肩、叶片形状、花序类型、叶片数量、花梗离层、叶片颜色、萼片形状、果面棱沟、果形、畸

形果、熟性、成熟果色、果皮色、果肉色、横切形状、叶片状态、胶状物颜色等。

14 个数量性状指标,分别是叶片长、果梗洼木栓化大小、单果质量、果柄长度、单花序果数、可溶性固形物含量、果实纵径、果实横径、首花序节位、果形指数、叶片宽、果实硬度、果肉厚、心室数。测试使用仪器有 TD-45 糖度计、MNT-150T 游标卡尺、GY-4 硬度计。参照《番茄种质资源描述规范和数据标准》^[11]进行表型性状调查描述。

1.4 数据统计与分析

试验利用适合农业科学研究的多元统计方法,并利用 Excel 2010 对质量性状遗传多样性指数进行计算并进行相关试验数据处理。数量性状中数据的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数的计算及相关性分析、主成分分析、聚类分析均采用软件 SPSS 20.0 进行。

参照刘佩君的方法,计算 Shannon - Wiener 多样性指数(H'),质量性状遗传多样性指数计算公式为 $H' = -\sum(P_i)(\ln P_i)$, $i = 1, 2, 3, \dots$, 式中: P_i 是某个性状第 i 个级别的材料数占材料总数的百分比;数量性状多样性指数基于平均数和标准差对所有材料的每个性状进行 10 个等级的划分,每 0.5σ 为一级, σ 为标准差,仍按照上述公式进行相关计算^[12]。参照李艳红等的方法^[13],完成对 74 份大果番茄种质的 34 个性状数据的标准化处理并带入各主成分中,计算各主成分的得分。再按照各主成分贡献率计算权重系数,通过隶属函数完成对各主成分的归一化处理,最终算得番茄各种质的综合得分,实现对种质资源的评价与分析。

2 结果与分析

2.1 表型性状遗传多样性分析

2.1.1 质量性状 74 份大果番茄种质 20 个质量性状的描述性统计分析结果见表 2。遗传多样性指数变化范围为 0.072 ~ 1.382。其中遗传多样性指数大于 1 的质量性状有生长势、果面棱沟、萼片形状、成熟果色、果肉色、叶片类型、胶状物颜色。胶状物颜色 H' 最大,为 1.382,变异类型丰富,其中以分布频率为 48.65% 的黄色胶状物颜色为主;叶片类型的遗传多样性指数为 1.221,以分布频率为 35.14% 的普通叶为主;萼片形状遗传多样性指数为 1.131,以分布频率为 39.19% 的卷曲萼片为主;成熟果色遗传多样性指数为 1.064,以分布频率为

47.30% 的粉红成熟果色为主;果肉色 H' 为 1.043,生长势 H' 为 1.040,果面棱沟 H' 为 1.086。

表 2 番茄种质资源质量性状分布频率和多样性指数

性状	遗传多样性指数	性状描述	资源数(份)	分布率(%)
叶片状态	0.876	直立	21	28.38
		水平	7	9.46
		下垂	46	62.16
生长习性	0.584	无限	54	72.97
		有限	20	27.03
生长势	1.040	弱	14	18.92
		中	34	45.95
		强	26	35.14
叶片形状	0.670	羽状复叶	29	39.19
		二回羽状复叶	45	60.81
花序类型	0.343	单式花序	66	89.19
		多歧花序	8	10.81
叶片类型	1.221	普通叶	26	35.14
		薯叶	3	4.05
		复宽叶	22	29.73
		复细叶	23	31.08
叶片数量	0.953	多	42	56.76
		中	22	29.73
		少	10	13.51
花梗离层	0.072	有	73	98.65
		无	1	1.35
叶片颜色	0.935	黄绿	1	1.35
		浅绿	5	6.76
		绿	41	55.41
		深绿	27	36.49
萼片形状	1.131	平	1	1.35
		微翘	17	22.97
		微卷	27	36.49
		卷曲	29	39.19
果面棱沟	1.086	无	43	58.11
		轻	18	24.32
		中	6	8.11
		重	7	9.46
果形	0.854	扁圆	48	64.86
		圆形	21	28.38
		高圆	4	5.41
		椭圆	1	1.35
绿肩	0.620	有	23	31.08
		无	51	68.92
畸形果	0.522	无	58	78.38
		有	16	21.62

表2(续)

性状	遗传多样性指数	性状描述	资源数(份)	分布率(%)
熟性	0.967	极早	2	2.70
		早	11	14.86
		中	48	64.86
		晚	13	17.57
成熟果色	1.064	红	27	36.49
		粉红	35	47.30
		黄	11	14.86
		紫色	0	0
		绿	1	1.35
		无色	35	47.30
果皮色	0.755	黄色	38	51.35
		红色	1	1.35
		粉红色	33	44.59
果肉色	1.043	红色	27	36.49
		黄色	14	18.92
		圆形	50	67.57
横切形状	0.812	等边多边形	6	8.11
		不规则性状	18	24.32
		黄绿色	9	12.16
胶状物颜色	1.382	黄色	36	48.65
		绿色	6	8.11
		红色	14	18.92
		粉红色	9	12.16

2.1.2 数量性状 74份大果番茄种质14个数量性状的描述性统计分析结果见表3。74份大果番茄种质14个数量性状变异系数变化范围为12.46%~

47.27%，平均变异系数为26.25%；遗传多样性指数变化范围为1.066~2.048，平均值为1.741，表明种质资源的多样性丰富。

单花序果数的变异系数最大，为2.048，说明该性状拥有较大的变异幅度；叶片宽、果梗洼木栓化大小、单果质量、果实硬度、果柄长度、果实横径变异系数大小均在1.801~1.934之间；果形指数的变异系数最小，为1.066，说明该数量性状变异幅度小，可稳定遗传。

2.2 番茄种质资源数量性状相关性分析

为充分研究和了解不同数量性状的相互关系及相互影响，加速选育性状优良的番茄新品种，对番茄的14个数量性状开展相关性研究，结果(表4)显示，14个数量性状之间存在着显著或极显著的相关关系。其中，首花序节位与果实横径、果梗洼木栓化大小呈极显著正相关；果柄长度与果形指数呈极显著负相关；单花序果数与果实横径、果梗洼木栓化大小、单果质量、心室数均呈极显著负相关，这表明单花序果数的增加，会带来单果质量的降低及果实横径的减小。果实横径与心室数、果梗洼木栓化大小、单果质量均呈极显著正相关，说明横径的增大会使单果质量增加，因此在选育大果品种时，要选择单花序果数少，果实横径比较大的亲本材料。果梗洼木栓化的大小与单果质量和心室数呈极显著正相关，说明木栓化越大的番茄，单果质量越大，心室也越多，这与番茄的实际生产规律相一致。心室数与单果质量呈极显著正相关，表明单

表3 番茄种质资源数量性状遗传多样性分析结果

性状	遗传多样性指数	均值	标准差	最大值	最小值	变异系数(%)
首花序节位	1.705	6.70	1.03	10.00	4.10	15.33
叶片长(cm)	1.695	41.14	5.82	51.97	25.50	14.15
叶片宽(cm)	1.934	43.62	7.08	61.66	25.56	16.23
果柄长度(cm)	1.820	1.20	0.40	2.19	0.00	33.66
单花序果数	2.048	4.39	1.01	7.70	2.80	22.98
果实纵径(cm)	1.476	60.63	20.05	186.32	6.99	33.07
果实横径(cm)	1.801	74.44	16.36	103.93	9.74	21.98
果形指数	1.066	0.83	0.39	4.01	0.39	47.27
果梗洼木栓化大小(cm)	1.924	1.71	0.52	3.46	0.63	30.59
单果质量(g)	1.859	220.08	87.26	576.97	68.84	39.65
果实硬度(kg/cm ²)	1.863	4.53	0.56	6.59	3.97	12.46
可溶性固形物含量(%)	1.757	5.01	0.74	7.38	2.30	14.72
果肉厚(cm)	1.712	0.79	0.19	1.96	0.54	23.71
心室数(个)	1.712	5.78	2.42	16.40	2.00	41.76

表 4 74 份番茄种质资源 14 个数量性状间的相关性分析结果

性状	相关系数														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	1.000														
2	0.108	1.000													
3	0.007	0.792**	1.000												
4	0.133	-0.009	0.076	1.000											
5	-0.269*	-0.289*	-0.203	0.009	1.000										
6	0.004	-0.114	-0.310**	-0.265*	0.015	1.000									
7	0.361**	0.048	-0.06	-0.006	-0.478**	0.408**	1.000								
8	-0.209	-0.155	-0.285*	-0.309**	0.304**	0.819**	-0.173	1.000							
9	0.402**	0.229*	0.199	0.093	-0.544**	0.003	0.606**	-0.328**	1.000						
10	0.273*	0.168	0.085	-0.032	-0.543**	0.108	0.638**	-0.232*	0.787**	1.000					
11	-0.078	-0.042	-0.041	0.100	0.258*	-0.035	-0.216	0.075	-0.257*	-0.253*	1.000				
12	-0.056	0.105	0.149	0.000	0.126	0.106	0.020	0.099	0.060	-0.065	-0.369**	1.000			
13	0.022	0.080	0.110	0.086	0.124	0.159	-0.037	0.171	-0.225	-0.165	0.291*	-0.094	1.000		
14	0.170	0.104	0.070	-0.078	-0.557**	0.022	0.570**	-0.280*	0.612**	0.740**	-0.288*	0.031	-0.418**	1.000	

注：*表示在0.05水平上显著相关，**表示在0.01水平上极显著相关。1:首花序节位;2:叶片长;3:叶片宽;4:果柄长度;5:单花序果数;6:果实纵径;7:果实横径;8:果形指数;9:果梗洼木栓化大小;10:单果质量;11:果实硬度;12:可溶性固形物;13:果肉厚;14:心室数。

果质量越大的番茄种质,心室数就会越多。利用数量性状相关性分析方法,掌握番茄各性状间复杂的相互关系,能提高育种选择效率,加速选育进程^[14]。

2.3 番茄种质资源主成分分析

表型性状主成分分析是充分反映各表型性状的综合指标,能够明确各表型性状在构成番茄多样性中的作用。表5中列出了74份大果番茄种质的34个表型性状主成分分析结果。结果表明:前9个主成分特征值均大于1.000,提取前9个主成分的累计贡献率达71.750%,可反映全部指标的绝大部分信息,反映种质中各表型性状在主成分中的占比情况。

第1主成分贡献率为17.363%,特征值为5.904,其中果梗洼木栓化大小、单果质量、心室数、果实横径的特征向量均为正,分别为0.750、0.673、0.671、0.548;单花序果数、果形、果形指数的特征向量载荷负向且较高,分别为-0.680、-0.668、-0.661,第1主成分主要与果实大小相关。第2主成分贡献率为12.352%,特征值为4.200,其中畸形果、叶片数量、心室数、生长习性的特征向量为正且载荷较高,分别为0.548、0.502、0.499、0.488;叶片形状、叶片类型、生长势、叶片宽的特征向量载荷负向且较高,分别为-0.648、-0.638、-0.577、-0.553,第2主成分主要与植株外观形态、生长习

性等相关。第3主成分贡献率为8.687%,特征值为2.954,其中果实纵径、果形指数、花梗离层的特征向量载荷较高且为正,分别为0.710、0.527、0.468;果皮色、横切形状特征向量载荷较高且为负,分别为-0.568、-0.494,第3主成分与果实的外观形态相关。第4主成分中横切形状、生长势特征向量的载荷较高,分别为0.532、0.531,该类性状主要与果实形状和生长状态相关。第5主成分中载荷较高且为负的性状有熟性、成熟果色、果实硬度,该类性状主要与熟性和果实硬度相关。

根据贡献率特征值综合分析,从主成分中筛选出叶片形状、梗洼木栓化大小、生长习性、果形指数、单果质量、叶片数量、果实横径、单花序果数、可溶性固形物、生长势、叶片类型、叶片宽、心室数、果实纵径、花梗离层、果皮色、生长状态、横切形状、花序类型、熟性、成熟果色、果实硬度共22个性状指标作为番茄表型遗传多样性评价的重要指标。

2.4 番茄种质资源聚类分析

对74份大果番茄种质的34个表型性状进行了聚类分析,聚类分析结果如图1所示,所有材料在5.485的遗传距离处聚为11个类群。其中,第2、第3、第7、第8、第10和第11类群均只包含1份番茄种质,说明这些类群番茄种质与其他种质同源关系远,在远缘杂交育种中可充分利用。

表5 74份番茄种质资源34个表型性状的主成分分析结果

性状	各主成分的特征向量								
	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5	主成分6	主成分7	主成分8	主成分9
首花序节位	0.471	0.003	0.133	0.270	-0.240	-0.230	0.183	-0.025	0.191
叶片长	0.417	-0.431	0.194	0.091	0.112	0.399	-0.372	-0.104	0.060
叶片宽	0.428	-0.553	0.012	0.095	0.065	0.304	-0.440	-0.016	-0.059
果柄长度	0.170	-0.256	-0.031	-0.312	-0.379	-0.240	0.129	0.417	0.012
单花序果数	-0.680	-0.188	-0.260	0.149	0.031	-0.175	-0.039	0.112	-0.091
果实纵径	-0.329	0.373	0.710	0.309	0.209	0.022	0.059	0.067	-0.058
果实横径	0.548	0.458	0.376	0.141	-0.127	-0.055	0.084	-0.118	-0.202
果形指数	-0.661	0.131	0.527	0.299	0.340	0.058	0.020	0.146	0.079
果梗洼木栓化大小	0.750	0.261	0.255	0.144	-0.146	0.102	-0.023	0.124	-0.128
单果质量	0.673	0.393	0.251	0.071	0.039	0.185	0.174	0.042	-0.151
果实硬度	-0.358	-0.150	-0.050	0.049	-0.509	0.283	0.086	0.084	0.359
可溶性固形物含量	0.065	-0.157	0.170	0.029	0.369	-0.455	-0.478	0.211	-0.295
果肉厚	-0.224	-0.439	0.227	0.255	-0.231	0.041	0.363	-0.096	-0.149
心室数	0.671	0.499	0.118	-0.083	0.177	0.115	-0.063	-0.043	-0.009
叶片状态	0.196	0.036	0.323	0.408	-0.160	-0.261	-0.304	-0.339	0.340
生长习性	-0.215	0.488	-0.118	-0.478	-0.136	0.368	-0.221	-0.033	0.067
生长势	-0.052	-0.577	0.009	0.531	0.064	0.215	-0.013	-0.098	-0.231
叶片形状	0.409	-0.648	0.219	-0.144	0.260	-0.103	0.225	-0.112	0.315
花序类型	-0.525	0.138	-0.119	0.022	0.257	0.322	-0.139	0.113	0.189
叶片类型	0.383	-0.638	0.089	-0.042	0.303	-0.190	0.256	-0.087	0.273
叶片数量	-0.068	0.502	0.152	-0.376	0.209	-0.261	0.110	-0.236	0.205
花梗离层	-0.555	0.147	0.468	0.377	0.399	0.062	0.028	0.160	0.124
叶片颜色	-0.263	-0.318	-0.053	0.240	-0.241	0.241	0.013	-0.457	-0.412
萼片形状	0.159	-0.228	-0.054	-0.122	-0.022	0.352	-0.338	0.152	0.298
果面棱沟	0.395	0.214	-0.416	0.490	0.272	0.264	0.207	-0.053	0.208
果形	-0.668	-0.125	0.210	-0.164	0.218	0.308	0.135	0.074	0.046
绿肩	-0.346	-0.066	0.114	-0.439	0.040	0.339	0.324	-0.294	-0.221
畸形果	0.234	0.548	-0.029	-0.037	0.045	0.399	-0.018	-0.028	-0.051
熟性	0.106	-0.077	0.228	0.260	-0.529	0.108	0.069	0.502	-0.107
成熟果色	-0.213	0.095	0.435	0.039	-0.536	0.143	-0.128	0.003	0.172
果皮色	-0.253	0.324	-0.568	0.375	0.069	-0.254	-0.170	-0.151	-0.037
果肉色	-0.466	0.403	-0.254	0.435	-0.378	-0.227	-0.098	-0.106	0.118
横切形状	0.294	0.171	-0.494	0.532	0.128	0.269	0.264	0.101	0.159
胶状物颜色	0.209	0.002	-0.371	0.080	0.351	0.07	0.158	0.393	-0.162
特征值	5.904	4.200	2.954	2.722	2.410	2.065	1.522	1.336	1.284
贡献率(%)	17.363	12.352	8.687	8.006	7.089	6.075	4.475	3.928	3.775
累计贡献率(%)	17.363	29.715	38.402	46.408	53.497	59.572	64.047	67.975	71.750

第1类群共有47份种质,该类群为无限生长类型,果皮以粉色为主,平均单果质量为189.00g,结果量多,产量高,连续坐果能力强,果实品质佳,口感甜酸,可用于培育高产、高品质番茄品种。

第4类群共有7份种质,该类群果实硬度大,平

均硬度为5.19 kg/cm²,果汁少,可溶性固形物含量低(平均值为4.52%),果皮为淡黄绿色,熟性极晚,可作为培育晚熟、耐储运番茄品种的亲本材料。

第5类群中有8份种质,该类群涵盖番茄类型较多且种质复杂,6份种质果皮颜色为红色,2份种

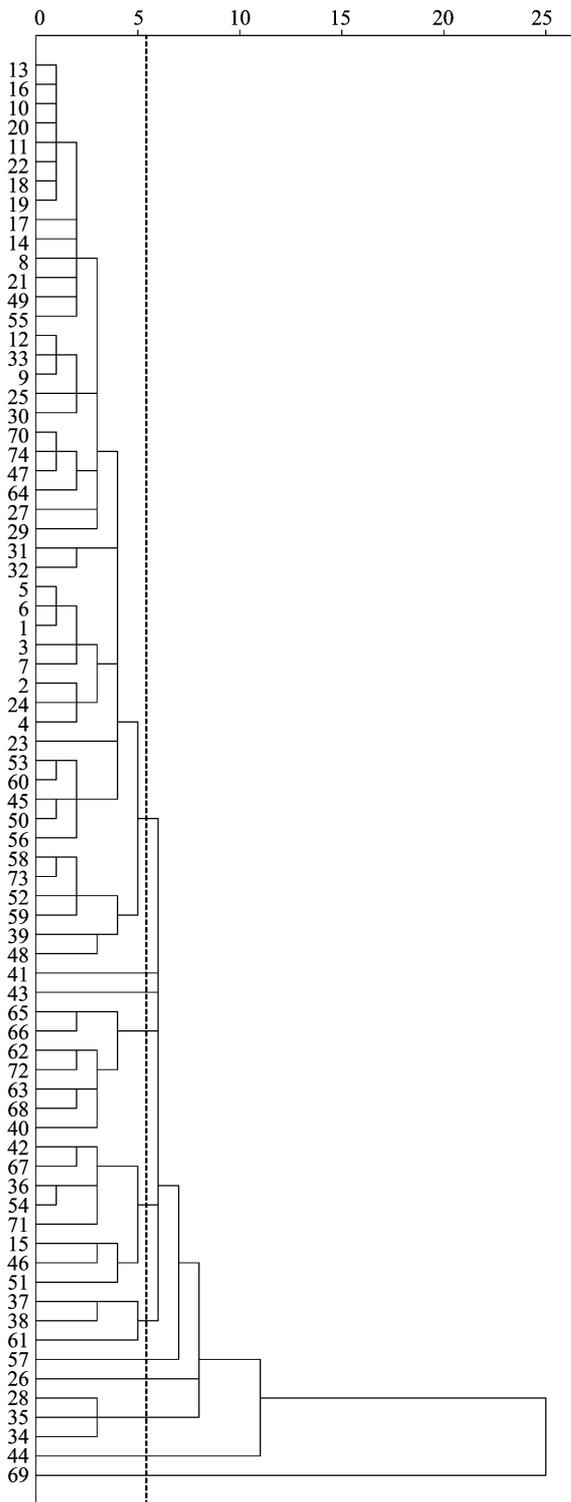


图1 番茄种质资源聚类树状图

质果皮颜色为黄色;果实可溶性固形物含量高(平均值为 5.16%),可用于培育高品质番茄新品种。

第 6 类群共有 3 份种质,该类群为有限生长类型,中果,果皮黄色或浅黄色,果实圆形或高圆形,早熟,结果量多,早期果实膨大速度快,果汁多,以

两心室为主,可用于培育早熟、黄色、高产番茄品种。

第 9 类群共有 3 份种质,该类群为无限生长类型,平均单果质量为 480.00 g,较其他类群果实大,果实萼片大,果蒂与果实连接紧密,果实成熟后不易掉落,扁圆形或马蹄形,硬度小,平均硬度为 0.97 kg/cm^2 ,可作为特殊种质利用。

2.5 番茄种质综合评价

利用番茄种质主成分分析得到的各主成分得分系数对 74 份种质进行综合评价。将 34 个表型性状标准化数值带入以上 9 个主成分中,得到各番茄种质 9 个主成分的得分,现以第 1 主成分为例,第 1 主成分线性方程为: $F_1 = 0.080X_1 + 0.071X_2 + 0.073X_3 + 0.029X_4 - 0.116X_5 - 0.056X_6 + 0.093X_7 - 0.112X_8 + 0.127X_9 + 0.114X_{10} - 0.061X_{11} + 0.011X_{12} - 0.038X_{13} + 0.114X_{14} + 0.033X_{15} - 0.036X_{16} - 0.009X_{17} + 0.069X_{18} - 0.089X_{19} + 0.065X_{20} - 0.011X_{21} - 0.094X_{22} - 0.045X_{23} + 0.027X_{24} + 0.067X_{25} - 0.113X_{26} - 0.059X_{27} + 0.040X_{28} + 0.018X_{29} - 0.036X_{30} - 0.043X_{31} - 0.079X_{32} + 0.050X_{33} + 0.035X_{34}$ 。

以 9 个主成分的贡献率为基础计算各番茄种质的综合得分,并根据综合得分进行评价挖掘核心种质。由表 6 可知,番茄种质资源综合得分(F)变化范围为 $-0.672 \sim 0.935$,得分最高的 3 份种质资源为 JL035、JL034、JL028,综合得分分别为 0.935、0.680、0.673。以上 3 份番茄种质综合评分高,且均为多年高世代番茄亲本材料,可作为核心种质重点利用。

3 讨论与结论

本研究通过对 74 份大果番茄种质 34 个表型性状遗传多样性的分析,并综合遗传多样性指数和变异系数了解种质变异情况,挖掘各番茄种质的育种价值。结果表明,供试种质表型性状遗传多样性丰富,具有较高的变异度。20 个质量性状 H' 变化范围为 $0.072 \sim 1.382$,其中胶状物颜色 H' 最大,为 1.382,胶状物颜色中分布频率最高的是黄色胶状物颜色,分布频率为 48.65%。供试材料中 98.65% 的种质表现为花梗有离层,89.19% 的种质表现为单式花序,说明目前大果番茄育种倾向于选育有离层,单式花序品种。14 个数量性状 H' 变化范围为 $1.066 \sim 2.048$,其中单花序果数 H' 最大,为 2.048,数量性状变异系数变化范围为 $12.46\% \sim 47.27\%$ 。质量性状 H' 变化范围绝大部分在 $0 \sim 2$ 之间,且 H' 越大表

表6 番茄种质资源综合得分

编号	综合得分	排名	编号	综合得分	排名	编号	综合得分	排名
JL01	0.145	22	JL026	-0.244	64	JL051	0.515	4
JL02	-0.129	50	JL027	-0.415	69	JL052	-0.594	73
JL03	0.169	19	JL028	0.673	3	JL053	0.243	11
JL04	-0.011	41	JL029	-0.090	47	JL054	-0.001	37
JL05	0.174	18	JL030	0.262	9	JL055	-0.230	62
JL06	0.224	13	JL031	-0.006	39	JL056	0.041	28
JL07	0.094	25	JL032	-0.284	67	JL057	0.191	16
JL08	-0.132	51	JL033	0.012	35	JL058	-0.191	56
JL09	0.027	30	JL034	0.680	2	JL059	-0.242	63
JL010	-0.003	38	JL035	0.935	1	JL060	0.351	5
JL011	0.013	34	JL036	-0.070	46	JL061	-0.672	74
JL012	0.019	32	JL037	-0.137	53	JL062	0.024	31
JL013	-0.115	48	JL038	-0.045	45	JL063	-0.164	54
JL014	0.015	33	JL039	-0.206	60	JL064	-0.205	59
JL015	0.228	12	JL040	-0.010	40	JL065	0.285	8
JL016	-0.181	55	JL041	-0.279	66	JL066	0.136	23
JL017	-0.134	52	JL042	0.332	6	JL067	0.008	36
JL018	-0.038	43	JL043	-0.253	65	JL068	-0.123	49
JL019	-0.034	42	JL044	-0.463	72	JL069	0.320	7
JL020	0.088	26	JL045	0.252	10	JL070	-0.442	71
JL021	0.180	17	JL046	0.149	21	JL071	-0.195	57
JL022	0.104	24	JL047	-0.313	68	JL072	0.192	15
JL023	-0.198	58	JL048	-0.040	44	JL073	-0.417	70
JL024	0.198	14	JL049	0.037	29	JL074	-0.220	61
JL025	0.050	27	JL050	0.160	20			

明种质遗传多样性越丰富,这与刘珮君等的研究结果^[15]相同,但在赵云霞等对246份番茄种质资源表型性状的遗传多样性研究中,质量性状中叶片着生状态 H' 能达到2.46^[10],该值远高于本研究结果中胶状物颜色 H' 。本研究中74份种质的7个种质质量性状 H' 数值 ≥ 1.000 ,说明供试材料种质遗传多样性较丰富,进行深入挖掘的价值较大。数量性状 H' 最大值是单花序果数,为2.048,该结果与张倩男等在117份番茄种质资源抗性遗传多样性研究中的数量性状 H' 最大值(2.063)^[16]及芮文婧等在353份种质资源遗传多样性分析研究结果中的数量性状 H' 最大值(2.07)^[1]的结果相似。

采用相关性分析方法对番茄的14个数量性状开展研究,发现单花序果数与果实横径、单果质量、心室数、果梗洼木栓化大小均呈极显著负相关;而果实横径与单果质量、心室数、果梗洼木栓化大小均呈极显著正相关,这些研究结果与刘珮君等关于

番茄表型性状相关性结论^[15]有很大的相似之处。

通过特征值高低主成分分析可以更全面反映各因子间不同性状的情况^[17]。杨珊等通过对国外122份普通菜豆资源的26个表型性状进行主成分分析,选取颜色、百粒质量、产量、形态作为挖掘国外菜豆种质资源的主要因子,前8个主成分累计贡献率达74.37%^[18]。董承光等对84份新疆陆地棉进行主成分分析,前5个主成分的累计贡献率达77.25%,并发现在所有主成分中衣分、纤维长度、籽棉产量得分较高^[19]。本研究主成分分析结果表明,选取特征值大于1.000且累计贡献率达到71.750%的前9个主成分作为该74份种质资源的主成分。根据贡献率特征值综合分析,从主成分中筛选出叶片形状、梗洼木栓化大小、生长习性、果形指数、单果质量、叶片数量、果实横径、单花序果数、可溶性固形物、生长势、叶片类型、叶片宽、心室数、果实纵径、花梗离层、果皮色、生长状态、横切形状、

花序类型、熟性、成熟果色、果实硬度共 22 个性状指标作为番茄表型遗传多样性评价的重要指标。

聚类分析将相似程度最大的样品,通过样品的特异性相似程度进行优先聚合,再将多个样品按照样品类别的综合性质进行聚合,最终完成分析全过程^[20]。本研究中的 74 份大果番茄种质,在欧氏距离为 5.485 处聚合成 11 个类群,其中的 6 个类群只包含 1 份种质,表明这 6 份种质与其他种质亲缘关系较远,在远缘杂交育种中有很高的利用价值。第 1 类群包含 47 份材料,第 1 类群主要与番茄产量和品质相关,可用于培育高产、优质的番茄品种;第 4 类群包含 7 份材料,果皮黄绿色、熟性较晚,果实硬度大,可作为培育晚熟、耐储运番茄品种的亲本材料;第 5 类群包含 8 份材料,该类群可溶性固形物含量高,可用于高品质番茄品种的选育;第 6 类群包含 3 份材料,中果、早熟、丰产性好,可用于高产、早熟番茄品种的选育;第 9 类群包含单果质量大,马蹄形,果肉起沙的 3 份材料,可作为特殊种质材料利用。

主成分分析和隶属函数分析作为基础的综合分析方法,已在多种作物研究中广泛使用^[21-25]。该方法通过综合分析可以更直观地反映番茄种质优劣,提高选择效率。本研究综合利用主成分和隶属函数分析方法,通过综合得分由高到低筛选优质番茄材料,共筛选出 JL035、JL034、JL028 这 3 份优质番茄种质材料。

栽培条件和环境条件易影响番茄种质的表型性状。在对表型性状聚类和分子标记聚类的分析结果中金凤媚等发现了一些与前人研究结果不同之处^[26],这表明在表型性状研究中仍存在一定的误差,仍需要不断完善。今后将深入开展分子相关研究,综合表型性状与分子分析 2 个方面的结果,更客观地对番茄种质资源进行研究与评价。

参考文献:

- [1] 芮文婧,王晓敏,张倩男,等. 番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报,2018,45(3):561-570.
- [2] 孙亚东,梁燕,吴江敏,等. 番茄种质资源的遗传多样性和聚类分析[J]. 西北农业学报,2009,18(5):297-301.
- [3] 王小娟,陈健晓,李雪娇,等. 13 份矮生番茄种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 分子植物育种,2022,20(6):1955-1964.
- [4] 袁东升,王晓敏,赵宇飞,等. 100 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 西北农业学报,2019,28(4):594-601.
- [5] 姚祝芳,张雄坚,杨义伶,等. 177 份甘薯地方资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 作物学报,2022,48(9):2228-2241.
- [6] 朱业宝,陈立喆,张丹,等. 福建省水稻地方品种表型性状遗传多样性分析[J]. 福建农业学报,2021,36(10):1119-1125.
- [7] 张学超,任海龙,唐式敏,等. 伊犁天山 160 份野苹果种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2021,22(6):1521-1530.
- [8] 吕正鑫,贺艳群,贾东峰,等. 猕猴桃种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 园艺学报,2022,49(7):1571-1581.
- [9] 芮文婧,张倩男,王晓敏,等. 47 份大果番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):92-95.
- [10] 赵云霞,颜秀娟,王学梅,等. 246 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学,2021,49(17):134-140.
- [11] 李锡香,杜永臣. 番茄种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
- [12] 刘珮君. 番茄种质资源和杂交组合的综合评价及自交系数量性状的遗传效应分析[D]. 银川:宁夏大学,2020.
- [13] 李艳红,聂俊,郑锦荣,等. 华南地区樱桃番茄表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 园艺学报,2021,48(9):1717-1730.
- [14] 刘子记,申龙斌,杨衍,等. 甜椒核心种质遗传多样性与亲缘关系分析[J]. 江苏农业科学,2016,45(5):199-202.
- [15] 刘珮君,王晓敏,李国花,等. 166 份番茄种质资源的综合评价[J]. 云南大学学报(自然科学版),2020,42(4):792-803.
- [16] 张倩男,王晓敏,芮文婧,等. 基于表型性状及抗病标记的番茄种质资源遗传多样性分析[J]. 西南农业学报,2018,31(1):14-21.
- [17] 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.
- [18] 杨珊,余莉,王昭礼,等. 122 份国外普通菜豆资源聚类分析和主成分分析[J]. 种子,2021,40(2):67-75.
- [19] 董承光,王娟,周小凤,等. 新疆陆地棉品种资源的主成分分析和聚类分析[J]. 西南农业学报,2016,29(8):1798-1805.
- [20] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京:北京大学出版社,2005:118-120.
- [21] 姚庆群,白昌军,王文强,等. 不同统计方法对豆科牧草种质资源适应性评价的比较[J]. 亚热带植物科学,2009,38(1):26-30.
- [22] 盛业龙,王莎莎,许美玲,等. 应用隶属函数法综合评价不同烤烟品种苗期抗旱性[J]. 南方农业学报,2014,45(10):1751-1758.
- [23] 陈平,姜涛,喻春明,等. 应用隶属函数法评价 33 个苕麻资源的营养品质[J]. 湖北农业科学,2015,54(10):2435-2438,2469.
- [24] 金杭霞,郭丹丹,杨清华,等. 利用模糊隶属函数法综合评价大豆萌发期耐盐性[J]. 分子植物育种,2021,19(24):8265-8271.
- [25] 邹成林,黄开健,翟瑞宁,等. 基于隶属函数法和主成分分析评价玉米萌发期抗旱性[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):7-13.
- [26] 金凤媚,薛俊,夏时云,等. SSR 标记技术在番茄遗传育种上的应用[J]. 天津农业科学,2004,10(4):13-17.