

华南地区樱桃番茄表型性状遗传多样性分析及综合评价

李艳红, 聂俊, 郑锦荣*, 谭德龙, 张长远, 史亮亮, 谢玉明

(广东省农业科学院设施农业研究所/农业农村部华南都市农业重点实验室, 广州 510640)

摘要: 采用聚类分析、主成分分析和表型性状综合评价方法, 对华南地区 110 份樱桃番茄的 26 个表型性状进行了遗传多样性分析及评价。研究结果表明: 110 份樱桃番茄种质的变异程度高, 类型多样, 且遗传多样性丰富。26 个表型性状的遗传多样性指数范围为 0.33 ~ 2.04, 其中葡萄糖/可溶性总糖这一性状的遗传多样性指数最大 (2.04)。19 个数量性状的变异系数均值为 31.41%, 其中番茄红素含量这一性状的变异系数最大 (80.41%)。聚类分析结果表明: 供试的 110 份种质资源可划分为 5 个类群, 第 I 类遗传改良潜力大, 第 III 类可主要作为口感型樱桃番茄的育种材料, 第 V 类可主要作为功能型樱桃番茄的育种材料。主成分分析和综合评价的研究结果表明, 前 9 个主要成分累计贡献率为 75.512%, 第一、三主成分主要反映植株的果实品质, 第二、四主成分主要反映果实的外观品质, 第五、六主成分主要反映植株的生长特征。各种质的综合得分范围为 -1.548 ~ 1.460, 5 份得分高的种质 ct092、ct028、ct018、ct090 和 ct017 可作为核心育种资源加以利用。

关键词: 番茄; 樱桃番茄; 种质资源; 遗传多样性; 聚类分析; 综合评价

中图分类号: S 641.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2021) 09-1717-14

Genetic Diversity Analysis and Multivariate Evaluation of Cherry Tomato by Phenotypic Traits in South China

LI Yanhong, NIE Jun, ZHENG Jinrong*, TAN Delong, ZHANG Changyuan, SHI Liangliang, and XIE Yuming

(Institute of Facility Agriculture, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Urban Agriculture in South China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In this study, the cluster analysis, principal component analysis, and multivariate evaluation of 26 phenotypic traits were carried out to evaluate the genetic diversity of 110 cherry tomato germplasm resources in South China. The results showed that high variation, phenotypic diversity, and genetic diversity were assessed in the 110 cherry tomato germplasm resources. The genetic diversity index of 26 phenotypic traits ranged from 0.33 to 2.04. The highest genetic diversity index was detected for the glucose/total soluble sugar (2.04). The mean value of the variation coefficient of the 19 quantitative indexes was 31.41%, and the highest variation coefficient was observed in lycopene content (80.41%). The

收稿日期: 2020-11-05; **修回日期:** 2021-05-06

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2018B020202006); 广东省农业科学院院长基金重点项目 (202002); 广东省农业科学院新兴学科团队项目 (201804XX)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: zhengjinrong@gdaas.cn)

110 cherry tomato resources were divided into five groups by systematic clustering. The germplasms in group I implied the good potential for genetic improvement. The germplasms in group III could be mainly used for the selection of flavor breeding genotypes of cherry tomato. The germplasms in group V could be mainly used for the selection of functional breeding genotypes of the cherry tomato. The principal component analysis and comprehensive evaluation indicated that the cumulative contribution rate of the nine main components was 75.512%. The first and third principal components mainly reflected the fruit quality of the cherry tomato. The second and fourth principal components mainly reflected the appearance quality of the cherry tomato fruit. The fifth and sixth principal components mainly reflected the growth characteristics of the cherry tomato plant. The comprehensive score of the germplasms ranged from -1.548 to 1.460. The five germplasms with high comprehensive scores were ct092, ct028, ct018, ct090, and ct017 which could be used as the core breeding resources.

Keywords: tomato; cherry tomato; germplasm resources; genetic diversity; cluster analysis; multivariate evaluation

樱桃番茄 (*Solanum lycopersicum* var *cerasiforme*) 又名圣女果、微型番茄、迷你番茄, 是都市农业、休闲农业及乡村振兴等现代农业种植的主要作物之一 (骆巧娟 等, 2019; 郑锦荣 等, 2020)。但目前国内种植的大多是国外品种, 价格昂贵且货源得不到保障, 不利于产业的稳定发展。为此, 对现有樱桃番茄种质资源的遗传多样性进行系统性评价, 进而培育樱桃番茄新品种重要且紧迫。

种质资源遗传多样性研究是品种改良和杂种优势利用的基础 (金凤媚 等, 2014)。表型性状多样性研究是遗传多样性分析和评价的常用方法之一 (孙亚东 等, 2009)。目前遗传多样性分析、聚类分析、相关性分析、主成分分析、综合评价等表型多样性研究方法在普通番茄 (周蓉 等, 2012; 李云洲 等, 2019; 袁东升 等, 2019)、水稻 (胡标林 等, 2012)、大豆 (林文磊 等, 2018)、燕麦 (雷雄 等, 2020)、李 (林存学 等, 2020)、杏 (董胜君 等, 2020) 等许多物种中被广泛应用。吴丽艳等 (2012) 对 62 份樱桃番茄的 12 个果实相关性状进行多元统计分析, 发现单果质量的变异系数最大 (51.02%), 前 4 个主成分的累计贡献率达 74.61%, 聚类分析将材料分为 3 大类群。芮文婧等 (2018) 通过对 353 份番茄种质资源的 29 个表型性状进行遗传多样性研究, 发现质量性状中遗传多样性指数最高的是生长势 (1.50), 数量性状中最高的是叶片长 (2.07) 和叶片宽 (2.07), 变异系数最大的是裂果率 (73.08%), 前 9 个主成分的累积贡献率为 64.83%, 并在遗传距离为 17.5 处将材料分为 6 大类群。刘珮君等 (2020) 对 166 份番茄资源的 31 个表型性状进行遗传多样性研究, 发现质量性状中熟性的遗传多样性指数最高 (1.248), 数量性状中叶宽的遗传多样性指数最高 (2.072), 变异系数最大的是单果质量 (55.21%), 在遗传距离为 17.5 处聚为 6 大类, 并筛选出综合性状最好的种质。但是前期研究中, 对番茄种质资源表型鉴定的重要指标选择筛选的总结较少, 还需要进一步的完善和补充, 以便更加全面准确地进行种质资源的评价。

尽管有关番茄种质资源遗传多样性的研究已有报道, 但是针对特定地区, 如中国热带亚热带地区樱桃番茄表型性状的遗传多样性的研究还鲜有报道。本研究中采用表型性状遗传多样性分析法对华南地区 110 份樱桃番茄种质资源的 26 个表型性状, 包括 7 个质量性状和 19 个数量性状, 进行遗传多样性分析和评价, 并且整合聚类分析、相关性分析、主成分分析和隶属函数法来进行综合评价, 进而筛选出较好的樱桃番茄种质材料, 进一步丰富华南地区樱桃番茄种质资源, 应用于新品种培育研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验方法

樱桃番茄 110 份材料均为广东省农业科学院设施农业研究所保存的种质资源, 编号依次为 ct001 ~ ct110, 其中 ct001, ct003, ct004, ct009 ~ ct053, ct075 ~ ct110 来自广州, ct002, ct005 来自中国台湾, ct006 ~ ct008, ct072 ~ ct074 来自三亚, ct054 ~ ct071 来源不详。

试验材料分别于 2019 年 1 月 19 日和 2020 年 1 月 15 日播种于广东省农业科学院白云基地育苗温室。每份材料播种 25 粒在 72 孔穴盘中进行育苗, 待其长到 5 ~ 6 片真叶时选取大小均匀的幼苗 15 株定植于温室中。采用浮板式水培的方式进行种植, 每个栽培槽长 1 m, 宽 0.4 m, 每个栽培槽种植 5 株, 3 个重复, 随机区组排列设计, 常规温室管理。

在生长发育时期(主要以第 2 穗果和第 3 穗果成熟期)调查樱桃番茄相关农艺性状和果实品质等 26 个性状指标。

生长类型、叶片类型、叶色、果形、绿肩、花序类型和成熟果色采用直接观察法, 参考《番茄种质资源描述规范和数据标准》进行统计、分级和赋值(李锡香和杜永臣, 2006)。

单果质量用准确度为 0.01 g 的电子天平测定, 果实纵径、横径、果梗洼大小、果肉厚用游标卡尺测定, 果实硬度用手持果实硬度计(GY-1 型, 艾普计量仪器有限公司)测定, 在长势一致的植株上选取 10 个大小均匀具有代表性的成熟果实进行直接测定, 取平均值。

果实可溶性固形物含量用数显糖度计(PAL-1, 日本爱宕)测定。可溶性糖采用蒽酮法测定(李合生等, 2000)。可滴定酸含量采用酸碱滴定法测定(曹建康和姜微波, 2007)。维生素 C 含量采用 2, 6 - 二氯酚靛酚滴定法测定(张治安和张美善, 2006)。番茄红素含量采用分光光度法测定(万学闪等, 2011)。测定 3 个生物学重复, 每个生物学重复在长势一致的植株上选取 5 个大小均匀具有代表性的成熟果实进行混样。

1.2 数据统计与分析

参照芮文婧等(2018)的分析方法进行多样性分析, 质量性状的遗传多样性指数采用 Excel2010 计算。数量性状的最小值、最大值、平均值、标准差、变异系数用 SPSS26.0 计算。聚类分析, 相关性分析和主成分分析均采用 SPSS26.0 进行, 参照董胜君等(2020)的方法进行综合评价。将 110 份樱桃番茄的 19 个数量性状的标准化数据代入各主成分中, 计算各主成分得分, 根据各主成分的贡献率确定权重系数, 再利用模糊隶属函数对各主成分进行归一化处理, 最后计算各份材料的表型综合值, 筛选出优异的樱桃番茄种质。

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

对供试的 110 份种质资源材料的 7 个质量性状进行描述性统计分析(表 1)。遗传多样性指数的变化范围为 0.33 ~ 1.27。遗传多样性指数大于 1.0 的是果形和成熟果色, 果形的遗传多样性指数为 1.27, 主要以圆形为主, 占 43.64%。成熟果色的遗传多样性指数为 1.27, 以红色为主, 占 53.64%,

黄色为 19.09%，粉红色为 20.00%。生长习性、叶色和花序变异也较为丰富，遗传多样性指数分别为 0.66、0.93 和 0.66，生长习性主要以无限生长型为主，占 61.82%；叶色以绿为主，占 70.00%；花序类型以单式花序为主，占 62.73%；叶片遗传多样性指数最低，为 0.33，主要表现为普通叶。

表 1 樱桃番茄质量性状频率分布和多样性指数
Table 1 Frequency distribution and diversity index of cherry tomato germplasm quality traits

性状 Trait	遗传多样性 指数 H'	性状描述级别 Characteristic description level	资源份数 Accession	分布频率/% Distribution frequency
生长习性 Growth habit	0.66	无限 Infinite	68	61.82
		有限 Determinate	42	38.18
叶片 Leaf	0.33	普通叶 Common leaf type	101	91.82
		薯叶 Potato leaf type	7	6.36
		复细叶 Slender compound leaf	2	1.82
叶色 Leaf color	0.93	黄绿 Yellow green	9	8.18
		浅绿 Light green	15	13.64
		绿 Green	77	70.00
		深绿 Dark green	9	8.18
果形 Fruit shape	1.27	扁圆 Oblate	14	12.73
		圆 Round	48	43.64
		椭圆 Elliptic	30	27.27
		高圆 Highly round	18	16.36
绿肩 Green shoulder	0.49	无 Absent	21	19.09
		有 Present	89	80.91
花序 Inflorescence	0.66	单式花序为主 Single inflorescence	69	62.73
		多歧花序为主 Polymorphism inflorescence	41	37.27
成熟果色 Color of mature fruit	1.27	红色 Red	59	53.64
		黄色 Yellow	21	19.09
		多色 Multicolour	1	0.91
		粉红色 Pink	22	20.00
		绿色 Green	3	2.73
		黑色 Black	1	0.91
		棕红色 Brownish	1	0.91
		咖啡色 Coffee	2	1.82

2.1.2 数量性状

对供试的樱桃番茄种质材料的 19 个数量性状进行统计学分析（表 2）。110 份樱桃番茄材料的变异系数变化范围为 10.86%~80.41%，遗传多样性指数的变化范围为 1.43~2.04。果实品质性状中，葡萄糖含量、番茄红素含量、葡萄糖/可溶性总糖和果糖/葡萄糖表现出较大程度的变异，变异系数分别为 55.39%、80.41%、48.50%和 74.72%，其遗传多样性指数也较高，分别为 2.00、1.84、2.04 和 1.54。其中不同类型樱桃番茄中的番茄红素的含量，最高可达 55.17 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ，最低为 0.23 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。果实外观指标中，果实纵径、果实横径、果形指数和果梗洼大小的变异系数分别为 20.70%、17.83%、14.68%和 26.28%，其遗传多样性程度分别为 1.81、1.43、1.89 和 1.94，其中果梗洼大小的变异系数和遗传多样性指数均较高。就单果质量而言，其变异系数为 36.64%，遗传多样性指数为 1.68，单果质量最大的达 40.00 g，最小为 1.78 g。首花序节位的变异系数较小，为 16.27%，遗传多样性指数为 1.98。果肉厚的变异系数为 23.37%，遗传多样性指数为 1.77。

通过对质量性状和数量性状的统计分析结果表明，各性状指标的变异系数表现出不同程度的差异，其中果实的品质性状的变异类型较为丰富。

表 2 樱桃番茄数量性状的遗传多样性分析

Table 2 Genetic diversity analysis of quantitative traits of cherry tomato germplasm resources

性状 Trait	遗传多样性指数 <i>H'</i>	均值 Mean	标准差 <i>SD</i>	变异系数/% <i>CV</i>	最大值 Max	最小值 Min
首花序节位 Node of the first inflorescence	1.98	7.43	1.21	16.27	10.80	5.20
单果质量/g Single fruit weight	1.68	14.45	5.29	36.64	40.00	1.78
果实纵径/cm Longitudinal diameter of fruit	1.81	3.03	0.63	20.70	4.34	1.02
果实横径/cm Transverse diameter of fruit	1.43	2.69	0.48	17.83	3.96	0.74
果形指数 Fruit shape index	1.89	1.13	0.17	14.68	1.56	0.85
硬度/($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$) Hardness	1.82	1.84	0.47	25.42	3.00	0.35
果梗洼大小/mm Size of pedicel scar	1.94	3.45	0.91	26.28	6.60	2.00
果肉厚/mm Pulp thickness	1.77	3.60	0.84	23.37	5.90	1.10
可溶性固形物含量/% Soluble solids content	1.95	7.08	1.30	18.42	10.10	3.70
可溶性总糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Total soluble sugar content	2.03	50.51	12.13	24.01	87.41	27.01
蔗糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Sucrose content	1.93	1.00	0.26	25.79	1.75	0.61
果糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Fructose content	1.99	19.03	4.97	26.10	34.61	10.25
葡萄糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Glucose content	2.00	7.46	4.13	55.39	17.51	1.26
可滴定酸含量/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) Titratable acid content	1.95	68.99	17.87	25.90	149.00	38.90
维生素 C 含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Vitamin C content	2.03	0.89	0.23	25.54	1.53	0.48
番茄红素含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Lycopene content	1.84	13.64	10.97	80.41	55.17	0.23
果糖/可溶性总糖 Fructose/Total soluble sugar	1.98	0.38	0.04	10.86	0.46	0.29
葡萄糖/可溶性总糖 Glucose/Total soluble sugar	2.04	0.14	0.07	48.50	0.37	0.01
果糖/葡萄糖 Fructose/Glucose	1.54	3.64	2.72	74.72	14.62	1.10

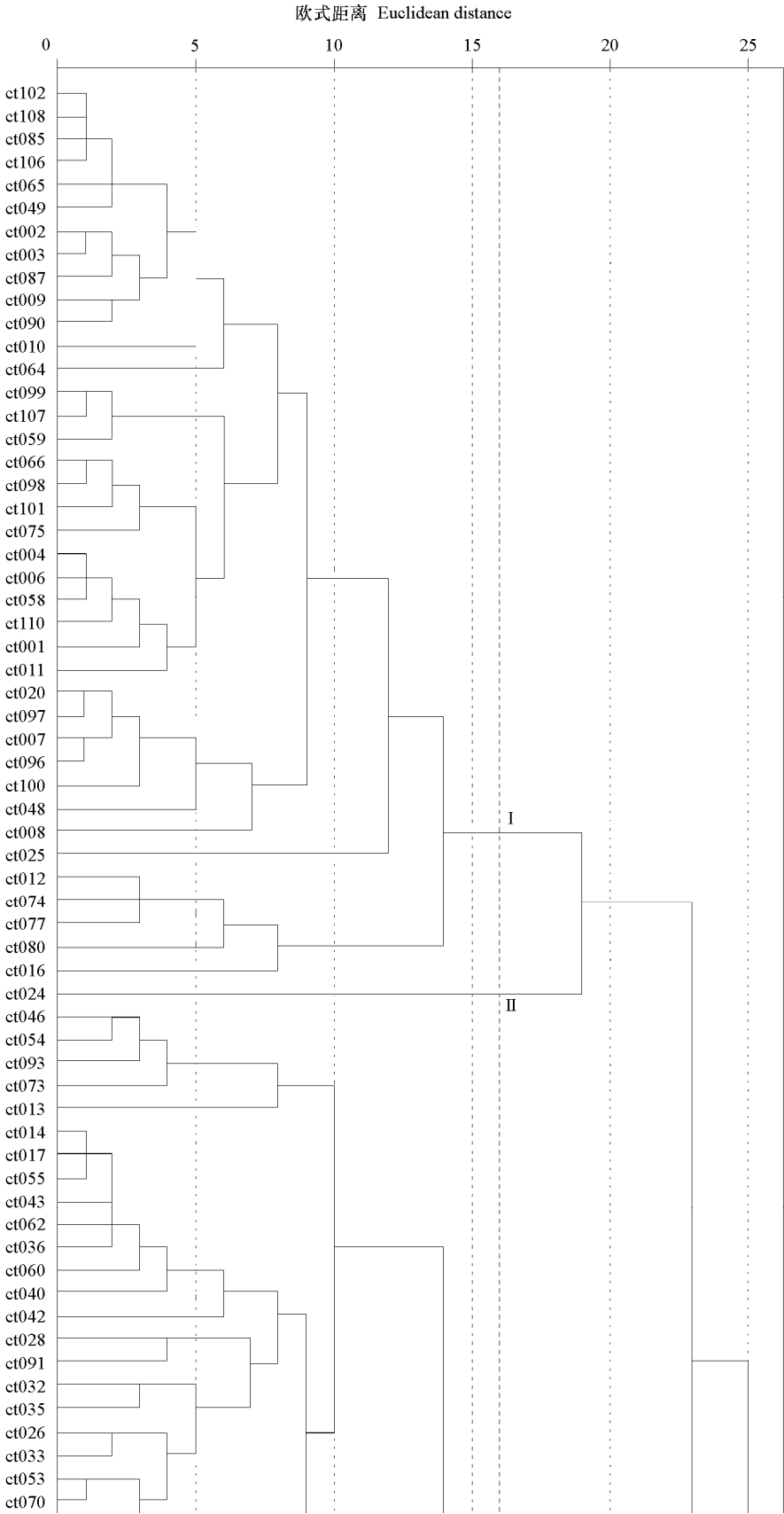
2.2 樱桃番茄种质资源的聚类分析

采用聚类分析法对 110 份樱桃番茄种质资源的 26 个表型性状进行分析, 结果表明: 在遗传距离为 16 处可划分为 5 大类群 (图 1), 且不同类群番茄种质的表型性状具有一定的差异性 (表 3)。

表 3 樱桃番茄种质资源不同类群性状的平均值

Table 3 The average value of traits in different group of cherry tomato germplasm resources

性状 Trait	I 类 Group I (<i>n</i> = 39)	II 类 Group II (<i>n</i> = 1)	III 类 Group III (<i>n</i> = 45)	IV 类 Group IV (<i>n</i> = 1)	V 类 Group V (<i>n</i> = 24)
首花序节位 Node of the first inflorescence	7.33	10.00	7.41	6.60	7.55
单果质量/g Single fruit weight	14.71	40.00	14.22	38.40	12.42
果实纵径/cm Longitudinal diameter of fruit	3.19	3.20	3.09	4.34	2.60
果实横径/cm Transverse diameter of fruit	2.77	3.30	2.72	3.96	2.44
果形指数 Fruit shape index	1.16	0.97	1.14	1.10	1.07
硬度/($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$) Hardness	1.87	1.00	1.86	1.90	1.76
果梗洼大小/mm Size of pedicel scar	3.42	5.40	3.33	6.10	3.57
果肉厚/mm Pulp thickness	3.63	4.90	3.66	5.90	3.29
可溶性固形物含量/% Soluble solids content	7.09	4.10	7.41	4.00	6.71
可溶性总糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Total soluble sugar content	45.63	43.41	55.62	28.80	50.06
蔗糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Sucrose content	0.91	1.28	1.03	0.69	1.12
果糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Fructose content	17.98	10.25	20.52	11.44	18.61
葡萄糖含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Glucose content	6.64	7.53	8.67	3.06	6.68
可滴定酸含量/($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$) Titratable acid content	64.39	49.72	71.58	39.90	73.91
维生素 C 含量/($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) Vitamin C content	0.97	0.49	0.80	0.61	0.95
番茄红素含量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Lycopene content	9.86	12.19	8.96	9.19	28.79
果糖/可溶性总糖 Fructose/Total soluble sugar	0.39	0.32	0.37	0.40	0.37
葡萄糖/可溶性总糖 Glucose/Total soluble sugar	0.14	0.17	0.15	0.11	0.13
果糖/葡萄糖 Fructose/Glucose	4.46	1.86	3.01	3.74	3.56
生长习性 Growth habit	1.46	2.00	1.41	1.00	1.33
叶片 Leaf	1.08	1.00	1.07	1.00	1.08
叶色 Leaf color	2.77	1.00	2.76	4.00	2.58
果形 Fruit shape	2.12	2.00	2.12	2.00	2.08
绿肩 Green shoulder	1.66	1.00	1.69	1.00	1.57
花序 Inflorescence	1.46	1.00	1.42	2.00	1.33
成熟果色 Color of mature fruit	2.11	6.00	2.07	4.00	2.38



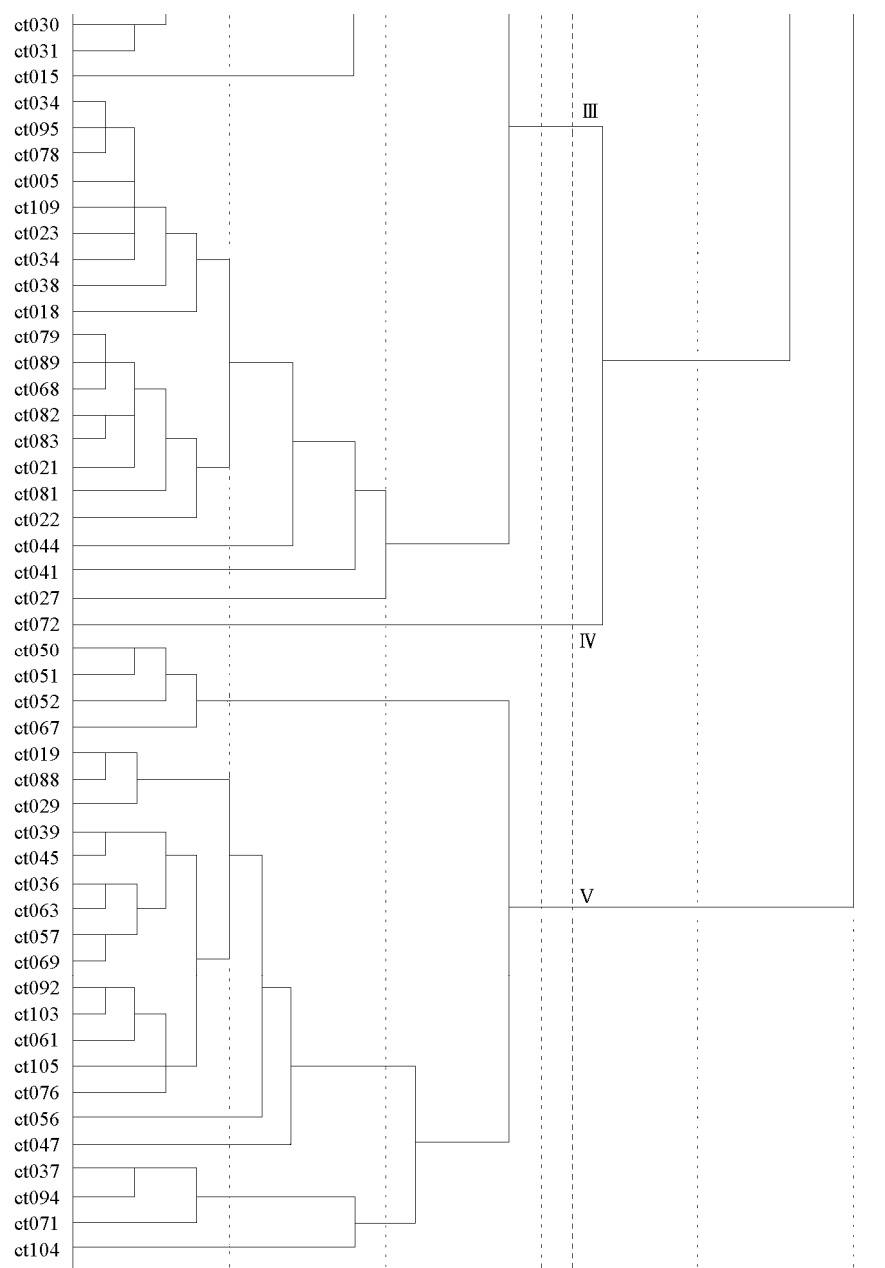


图 1 樱桃番茄种质资源聚类树状图

Fig. 1 Clustering dendrogram of cherry tomato germplasm resources

第 I 类群包括 39 份材料，主要特征是以无限生长类型为主，熟性以早熟为主，叶片多为普通，果实的纵径和横径均较大，果形指数较大，硬度高，可溶性固形物含量较高，可滴定酸含量中等，维生素 C 含量高，果糖/可溶性总糖含量和果糖/葡萄糖含量高。这一类材料可以在樱桃番茄品质改良和育种生产中进一步利用。

第Ⅱ类群仅 1 份材料 (ct024), 为有限生长类型, 晚熟, 黑色果, 葡萄糖含量高, 可作为特殊种质资源利用。

第Ⅲ类群共 45 份材料, 熟性以早熟为主, 叶片多为普通叶, 果梗洼小, 可溶性固形物含量、可溶性总糖含量、果糖含量和葡萄糖含量高, 可滴定酸含量适中。这组材料综合性状指标好, 口感好, 可作为口感型优良种质利用。

第Ⅳ类群仅 1 份材料 (ct072), 为无限生长类型, 极早熟, 单果质量达 38 g, 粉红色果, 无绿肩, 可作为培育早熟性中果形的樱桃番茄品种的重要材料。

第Ⅴ类群共 24 份材料, 此组材料较早熟, 果形以圆形为主, 维生素 C 含量较高, 可滴定酸含量和番茄红素含量高, 属于综合性状较好, 番茄红素和维生素 C 含量普遍较高的种质材料, 可作为功能型优良种质利用。

2.3 樱桃番茄种质资源的综合评价

2.3.1 相关性分析和主成分分析

对 19 个数量性状进行相关性分析, 结果 (表 4) 表明: 调查的性状之间存在显著或者极显著相

表 4 樱桃番茄种质资源数量性状相关性分析
Table 4 Correlation analysis of quantitative traits of cherry tomato germplasm resources

性状 Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1									
2	0.096	1								
3	0.122	0.493**	1							
4	0.103	0.518**	0.739**	1						
5	0.016	0.158	0.491**	-0.199*	1					
6	0.172	0.209*	0.368**	0.232*	0.276**	1				
7	-0.060	0.556**	0.002	0.271**	-0.226*	0.002	1			
8	0.120	0.681**	0.474**	0.414**	0.247**	0.476**	0.391**	1		
9	-0.270**	-0.315**	-0.007	-0.176	0.209*	-0.187*	-0.329**	-0.165	1	
10	-0.124	-0.105	0.083	-0.010	0.130	-0.021	-0.297**	-0.091	0.386**	1
11	-0.150	-0.163	-0.109	-0.149	-0.023	-0.113	0.044	-0.172	0.147	0.179
12	-0.168	-0.168	0.098	-0.060	0.214*	-0.064	-0.330**	-0.144	0.498**	0.910**
13	-0.031	-0.076	0.030	-0.066	0.146	0.035	-0.283**	-0.072	0.307**	0.662**
14	-0.052	-0.218*	-0.311**	-0.265**	-0.092	-0.025	0.102	-0.121	-0.174	0.071
15	-0.140	-0.268**	-0.053	-0.149	0.075	-0.092	-0.333**	-0.310**	0.349**	0.533**
16	0.080	-0.277**	-0.348**	-0.349**	-0.106	-0.064	-0.039	-0.262**	-0.021	0.069
17	-0.102	-0.080	0.049	-0.118	0.233*	-0.098	-0.067	-0.098	0.326**	-0.089
18	0.009	-0.043	-0.034	-0.137	0.169	0.062	-0.180	-0.046	0.166	0.212*
19	0.018	0.071	0.027	0.118	-0.112	-0.045	0.201*	0.005	-0.095	-0.267**
性状 Trait	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
11	1									
12	0.141	1								
13	0.042	0.497**	1							
14	0.008	0.065	-0.066	1						
15	0.111	0.596**	0.377**	-0.124	1					
16	0.185	0.057	-0.030	0.159	0.223*	1				
17	-0.063	0.319**	-0.287**	-0.035	0.164	-0.052	1			
18	-0.066	0.054	0.846**	-0.121	0.141	-0.067	-0.324**	1		
19	-0.001	-0.062	-0.726**	0.110	-0.119	-0.065	0.465**	-0.809**	1	

注: * 表示 0.05 显著水平, ** 表示 0.01 显著水平。1: 首花序节位; 2: 单果质量; 3: 果实纵径; 4: 果实横径; 5: 果形指数; 6: 硬度; 7: 果梗洼大小; 8: 果肉厚; 9: 可溶性固形物含量; 10: 可溶性总糖含量; 11: 蔗糖含量; 12: 果糖含量; 13: 葡萄糖含量; 14: 可滴定酸含量; 15: 维生素 C 含量; 16: 番茄红素含量; 17: 果糖/可溶性总糖; 18: 葡萄糖/可溶性总糖; 19: 果糖/葡萄糖。

Note: * means significance at the level of 0.05. ** means significance at the level of 0.01. 1: Node of the first inflorescence; 2: Single fruit weight; 3: Longitudinal diameter; 4: Transverse diameter; 5: Fruit shape index; 6: Hardness; 7: Size of pedicel scar; 8: Pulp thickness; 9: Soluble solids content; 10: Total soluble sugar content; 11: Sucrose content; 12: Fructose content; 13: Glucose content; 14: Titratable acid content; 15: Vitamin C content; 16: Lycopene content; 17: Fructose / Total soluble sugar; 18: Glucose / Total soluble sugar; 19: Fructose / Glucose.

关性,其中首花序节位与可溶性固形物含量呈极显著负相关,单果质量与果实纵径、果实横径、果梗洼大小、果肉厚均呈极显著正相关,而与代表品质性状的可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素 C 含量和番茄红素含量呈极显著负相关,说明高品质樱桃番茄的选育必须考虑果实的大小,果不宜过大。果实的纵径和横径与可滴定酸含量和番茄红素含量均呈极显著负相关。果形指数与可溶性固形物含量、果糖含量呈显著正相关,说明品种选育时需考虑果形。果梗洼大小与可溶性固形物含量、可溶性总糖含量、果糖含量、葡萄糖含量和维生素 C 含量均呈极显著负相关,说明果梗洼太大对于樱桃番茄是个不利的性状特征。果肉厚与维生素 C 含量和番茄红素含量呈极显著负相关,说明考虑番茄营养品质时需考虑果肉厚。可溶性固形物含量与可溶性总糖含量、果糖含量、葡萄糖含量、维生素 C 含量和果糖/可溶性总糖均呈极显著正相关。

相关性分析只是对数量性状进行分析, 性状间存在或大或小的相关性有可能影响到种质资源的评价。为了消除一些不利影响, 选用主成分分析法对种质资源的 26 个性状指标进行综合评价。经 KMO 和巴特利特 (Bartlett) 检验 ($KMO > 0.6$, 显著性 < 0.05), 证明各因素关联程度较高, 主成分分析结果较为理想。由表 5 可知, 9 个主成分的特征值都在 1.0 以上, 9 个主成分累计贡献率达 75.512%, 基本能够反映全部指标的大部分信息。第一主成分特征值最大, 为 4.608, 贡献率为 17.725%。

表5 樱桃番茄110份种质资源26个性状的主成分分析
Table 5 Principal components analysis of 26 traits of 110 cherry tomato germplasm resources

性状 Trait		主成分 Principal component								
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9
首花序节位 Node of the first inflorescence		-0.191	0.130	0.020	-0.353	0.458	0.020	-0.028	-0.019	-0.337
单果质量 Single fruit weight		-0.527	0.598	-0.153	0.222	-0.046	0.165	-0.073	-0.144	0.130
果实纵径 Longitudinal diameter of fruit		-0.158	0.817	0.173	0.220	0.123	0.017	-0.150	0.239	-0.147
果实横径 Transverse diameter of fruit		-0.405	0.500	-0.188	0.481	0.397	-0.145	-0.071	0.153	-0.064
果形指数 Fruit shape index		0.242	0.600	0.462	-0.282	-0.381	0.247	-0.124	0.041	-0.102
硬度 Hardness		-0.169	0.531	0.104	-0.306	0.217	0.224	0.267	0.041	0.112
果梗洼大小 Size of pedicel scar		-0.646	-0.007	-0.297	0.294	-0.181	0.304	-0.083	-0.241	0.191
果肉厚 Pulp thickness		-0.454	0.666	-0.038	0.045	-0.071	0.154	0.197	-0.134	0.102
可溶性固形物含量 Soluble solids content		0.614	0.045	0.205	0.329	-0.237	-0.157	-0.129	-0.025	0.035
可溶性总糖含量 Total soluble sugar content		0.707	0.197	-0.115	0.369	0.185	0.350	0.252	-0.051	-0.041
蔗糖含量 Sucrose content		0.172	-0.220	-0.072	0.214	-0.256	0.390	-0.039	0.443	0.116
果糖含量 Fructose content		0.716	0.142	0.202	0.463	0.146	0.290	0.159	-0.116	-0.034
葡萄糖含量 Glucose content		0.718	0.342	-0.508	-0.049	0.016	0.069	0.002	-0.195	-0.028
可滴定酸含量 Titratable acid content		-0.022	-0.360	-0.029	-0.070	-0.093	0.392	0.453	-0.207	-0.487
维生素C含量 Vitamin C content		0.672	-0.018	0.139	0.210	0.230	0.070	0.053	0.039	0.317
番茄红素含量 Lycopene content		0.184	-0.420	0.033	-0.249	0.230	0.429	-0.053	-0.025	0.316
果糖/可溶性总糖		0.080	-0.070	0.733	0.289	-0.110	-0.086	-0.225	-0.243	0.020
Fructose / Total soluble sugar										
葡萄糖/可溶性总糖		0.498	0.317	-0.569	-0.354	-0.142	-0.105	-0.196	-0.223	-0.015
Glucose/ Total soluble sugar										
果糖/葡萄糖 Fructose / Glucose		-0.478	-0.266	0.633	0.363	0.077	0.029	0.126	0.040	-0.048
生长习性 Growth habit		-0.348	-0.075	0.313	-0.277	0.303	0.427	-0.118	-0.152	-0.050
叶片 Leaf		-0.237	0.183	0.232	-0.282	-0.155	-0.158	0.449	-0.193	0.529
叶色 Leaf color		0.108	0.136	-0.093	-0.226	0.353	0.245	-0.252	0.365	0.207
果形 Fruit shape		0.250	0.564	0.460	-0.311	-0.439	0.153	-0.077	0.097	-0.114
绿肩 Green shoulder		0.234	0.329	0.028	-0.013	0.099	-0.383	0.551	0.264	-0.027
花序 Inflorescence		-0.205	-0.258	-0.185	-0.093	-0.347	0.158	0.174	0.529	-0.021
成熟果色 Color of mature fruit		-0.378	0.078	-0.532	0.362	-0.342	0.191	0.040	-0.018	-0.048
特征值 Eigenvalue		4.608	3.646	2.735	2.118	1.626	1.525	1.208	1.140	1.026
贡献率/% Contribution percentage		17.725	14.024	10.520	8.146	6.253	5.867	4.647	4.383	3.947
累积贡献率/% Cumulative contribution percentage		17.725	31.748	42.269	50.414	56.668	62.534	67.181	71.565	75.512

绝对值较高的正向特征向量的性状有可溶性固形物含量、可溶性总糖含量、果糖含量、葡萄糖含量和维生素 C 含量, 特征向量值分别为 0.614、0.707、0.716、0.718 和 0.672, 这些性状主要与樱桃番茄果实的品质有关, 绝对值较高的负向特征向量的性状有单果质量和果梗洼大小, 特征向量值分别为 -0.527 和 -0.646, 说明在第一主成分中单果质量和果梗洼大小与樱桃番茄的品质负相关。第二主成分特征值为 3.646, 贡献率为 14.024%。特征向量较高的为单果质量、果实纵径、果形指数、果肉厚和果形, 其特征向量分别为 0.598、0.817、0.600、0.666 和 0.564, 这些性状主要与樱桃番茄果实特性相关。第三主成分特征值为 2.735, 贡献率 10.520%。特征向量正向较高的性状是果糖/可溶性总糖, 果糖/葡萄糖含量, 这主要与樱桃番茄果实的风味品质相关。第四主成分累积贡献率达 50.414%, 特征向量正向且较高的性状为果实横径和果糖含量, 主要与樱桃番茄的外观品质相关。第五主成分累积贡献率达 56.668%, 特征向量正向较高的性状是首花序节位和果实横径, 主要果实特性相关。第六主成分累计贡献率达 62.534%, 其中番茄红素含量和生长习性的特征向量最大, 主要反映果实的营养品质特性和植株生长特性。

2.3.2 樱桃番茄种质资源综合评价

采用主成分分析法计算 110 份樱桃番茄的主成分得分, 并进行综合性评价。将樱桃番茄种质资源的 26 个表型性状标准化值, 代入上述 9 个主成分中, 求得各种质的 9 个主成分得分, 其中第 1 个主成分线性方程为: $F_1 = -0.089X_1 - 0.245X_2 - 0.074X_3 - 0.189X_4 + 0.113X_5 - 0.079X_6 - 0.301X_7 - 0.211X_8 + 0.286X_9 + 0.329X_{10} + 0.08X_{11} + 0.334X_{12} + 0.334X_{13} - 0.01X_{14} + 0.313X_{15} + 0.086X_{16} + 0.037X_{17} + 0.232X_{18} - 0.223X_{19} - 0.162X_{20} - 0.11X_{21} + 0.05X_{22} + 0.116X_{23} + 0.109X_{24} - 0.095X_{25} - 0.176X_{26}$ 。

再根据各主成分的贡献率, 得到樱桃番茄各种质的综合得分值, 对各种质进行综合评价。由表 6 可知, 综合得分 (F) 的变化范围为 -1.548 ~ 1.460, 其中得分高的 5 份种质资源为: ct092、ct028、ct018、ct090 和 ct017, 其得分值分别为 1.460、1.206、1.124、1.033 和 1.009。上述材料中 ct028、ct018 和 ct017 为遗传稳定的自交系材料。另外, 利用综合得分与 26 个表型性状进行相关性分析 (表 7), 发现 14 个表型性状与综合得分的相关性均达到极显著水平, 其中与果实纵径、果形指数、硬度、可溶性固形物含量、可溶性总糖含量、果糖含量、葡萄糖含量、维生素 C 含量、果糖/可溶性总糖含量、果形、绿肩呈极显著正相关, 而与果梗洼大小、花序类型、成熟果色呈极显著负相关。

表 6 樱桃番茄种质的综合得分 (F)
Table 6 The comprehensive scores of cherry tomato resources (F)

材料编号 Material number	综合得分 Score	排名 Ranking	材料编号 Material number	综合得分 Score	排名 Ranking	材料编号 Material number	综合得分 Score	排名 Ranking
ct001	0.089	47	ct038	0.950	6	ct075	0.210	38
ct002	-0.132	63	ct039	-0.825	103	ct076	-0.764	101
ct003	0.263	32	ct040	-0.121	62	ct077	0.739	14
ct004	0.396	25	ct041	-0.091	60	ct078	0.068	50
ct005	0.671	18	ct042	-0.760	100	ct079	0.367	27
ct006	0.435	24	ct043	0.087	48	ct080	0.233	37
ct007	-0.093	61	ct044	0.156	44	ct081	-0.644	96
ct008	0.042	53	ct045	-0.338	77	ct082	0.167	42
ct009	0.056	51	ct046	-0.452	89	ct083	0.049	52
ct010	-0.047	56	ct047	-0.416	88	ct084	0.190	41
ct011	-0.516	92	ct048	-0.376	83	ct085	0.768	11
ct012	-0.536	93	ct049	0.918	7	ct086	0.676	17
ct013	0.704	16	ct050	-0.164	67	ct087	0.308	29

续表 6

材料编号 Material number	综合得分 Score	排名 Ranking	材料编号 Material number	综合得分 Score	排名 Ranking	材料编号 Material number	综合得分 Score	排名 Ranking
ct014	0.208	40	ct051	- 0.668	98	ct088	0.158	43
ct015	- 0.802	102	ct052	- 0.647	97	ct089	- 0.206	69
ct016	- 0.676	99	ct053	- 0.159	66	ct090	1.033	4
ct017	1.009	5	ct054	0.097	46	ct091	0.650	20
ct018	1.124	3	ct055	- 0.340	79	ct092	1.460	1
ct019	0.876	8	ct056	- 0.302	76	ct093	0.726	15
ct020	0.814	9	ct057	0.237	36	ct094	0.242	34
ct021	- 0.009	55	ct058	0.358	28	ct095	0.777	10
ct022	- 0.353	81	ct059	- 0.371	82	ct096	- 0.300	75
ct023	0.141	45	ct060	0.086	49	ct097	0.270	31
ct024	- 1.548	110	ct061	- 0.247	71	ct098	0.742	13
ct025	- 0.467	90	ct062	- 0.143	65	ct099	- 0.266	73
ct026	- 1.005	107	ct063	- 0.401	86	ct100	- 0.057	58
ct027	- 1.149	108	ct064	- 0.394	85	ct101	- 0.297	74
ct028	1.206	2	ct065	- 0.386	84	ct102	0.240	35
ct029	0.503	23	ct066	0.541	22	ct103	0.275	30
ct030	- 0.498	91	ct067	- 0.352	80	ct104	0.253	33
ct031	- 0.408	87	ct068	0.657	19	ct105	0.209	39
ct032	- 1.000	106	ct069	0.017	54	ct106	- 0.137	64
ct033	- 0.246	70	ct070	- 0.862	104	ct107	- 0.164	68
ct034	0.602	21	ct071	- 1.176	109	ct108	0.755	12
ct035	- 0.249	72	ct072	- 0.990	105	ct109	- 0.074	59
ct036	- 0.050	57	ct073	- 0.338	78	ct110	- 0.611	94
ct037	- 0.614	95	ct074	0.385	26			

表 7 综合得分 (F) 与表型性状的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between comprehensive value (F-value) and traits

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient
首花序节位 Node of the first inflorescence	- 0.015	可滴定酸含量 Titratable acid content	- 0.171
单果质量 Single fruit weight	- 0.148	维生素 C 含量 Vitamin C content	0.582**
果实纵径 Longitudinal diameter of fruit	0.385**	番茄红素含量 Lycopene content	0.046
果实横径 Transverse diameter of fruit	- 0.097	果糖/可溶性总糖 Fructose / Total soluble sugar	0.348**
果形指数 Fruit shape index	0.652**	葡萄糖/可溶性总糖 Glucose / Total soluble sugar	0.104
硬度 Hardness	0.285**	果糖/葡萄糖 Fructose / Glucose	- 0.077
果梗洼大小 Size of pedicel scar	- 0.593**	生长习性 Growth habit	- 0.028
果肉厚 Pulp thickness	0.013	叶片 Leaf	0.071
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.474**	叶色 Leaf color	0.187
可溶性总糖含量 Total soluble sugar content	0.585**	果形 Fruit shape	0.627**
蔗糖含量 Sucrose content	0.027	绿肩 Green shoulder	0.357**
果糖含量 Fructose content	0.709**	花序 Inflorescence	- 0.326**
葡萄糖含量 Glucose content	0.357**	成熟果色 Color of mature fruit	- 0.524**

注: ** 代表在 0.01 水平上极显著相关。

Note: ** represents significant correlation at $P < 0.01$.

3 讨论

本研究中通过对华南地区 110 份樱桃番茄种质资源 26 个表型性状遗传多样性进行分析, 并采用遗传多样性指数与变异系数相结合的方法来挖掘其育种价值, 发现供试材料的表型性状遗传变异丰富。在检测的 7 个质量性状中, 质量性状的遗传多样性指数变化范围为 0.33 ~ 1.27, 其中果形和成熟果色这两个遗传性状遗传多样性指数最高。这一研究结果与吴丽艳等 (2012) 和李云洲等 (2019) 的研究结论较为一致, 但与以普通番茄为主的种质资源多样性研究结论不一致。Lin 等 (2014) 认

为从樱桃番茄到普通番茄的驯化过程中,很可能是对果形和成熟果色性状进行进一步的选择,进而导致了遗传多样性的不一致。在表型性状遗传多样性分析中,本研究所选的19个数量性状中大部分为果实品质相关性状,特别是与口感和营养相关的成熟果实的糖类、糖份比、番茄红素、维生素C等指标,其数量性状遗传多样性指数的变化范围为1.43~2.04,变异系数范围为10.86%~80.41%,且19个数量性状的变异系数均大于10.00%。这一结果说明数量性状在不同类型的种质个体间差异较大,以番茄红素变异系数最大。该结果与本研究在质量性状中成熟果色多样性指数最高结论较为一致。刘昕等(2020)认为番茄红素是类胡萝卜素组成主要成分之一,也是番茄颜色形成差异的原因。

聚类分析指将物理或抽象对象的集合分组为由类似的对象组成的多个类的分析过程,该方法目前已成为作物育种的必要手段之一(蔡晓洋等,2017)。本研究所用的110份樱桃番茄种质资源主要来自于广东省广州市和海南省三亚市,聚类分析结果表明供试品种并未严格按照地区进行聚类,而是分别分散于各个类群。研究还发现来源于中国台湾的两份樱桃番茄资源ct002和ct005分别聚类到第I类群和第III类群,可能与种质资源相互交叉利用有关,来源于不同地区的种质的具有相似的遗传背景,这一结论与前人研究结论(周蓉等,2012;冯晶晶等,2017)一致。Zhou等(2015)基于表型性状对50份包含栽培和野生的番茄种质进行聚类分析,聚类结果显示供试品种也未严格按照番茄类型进行聚类,可能是由于番茄资源的交叉利用或部分表型性状容易受到环境的影响导致。后续将结合表型性状和分子标记对华南地区樱桃番茄种质资源进行遗传多样性评价,为遗传育种提供更加可靠和准确的依据(Nikoumanesh et al., 2011)。通过聚类分析的结果可以使目的亲本之间的选择更有目的性,从而优化组合潜力,例如本研究中可以选择第I、III、V类的种质资源进行有目的的组合,选育更加具有突破性的新品种。

采用综合评价法研究植物种质资源是遗传多样性分析的重要环节。目前相关研究已有大量报道,其中基于模糊隶属函数和主成分分析的综合评价应用较多(徐义康等,2018;刘珮君等,2020)。本研究利用整合聚类分析、相关性分析、主成分分析和隶属函数法对樱桃番茄种质资源进行综合评价,通过综合得分值判断樱桃番茄综合优劣程度,筛选出ct092、ct028、ct018、ct090和ct017这5份得分较高的樱桃番茄种质。综合得分值与数量性状的相关性分析,发现14个表型性状与综合得分的相关性均达到极显著水平。本研究中的这一方法使得樱桃番茄的种质评价简单可行,且能提高鉴定效率,这一结论与芮文婧等(2018),韩泽群和姜波(2014)得出的果实性状因子、果实内在品质因子、果实外观品质及产量因子可用于对番茄品质综合评定的结果基本一致。

References

- Cai Xiao-yang, Zhang Si-di, Zeng Jun, Zhong Xing-bin. 2017. Evaluation of gardenia germplasm resources based on principal component analysis and cluster analysis. China Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 23 (14): 30 - 37. (in Chinese)
- 蔡晓洋, 张思荻, 曾俊, 钟兴彬. 2017. 基于主成分分析和聚类分析的栀子种质资源评价. 中国实验方剂学杂志, 23 (14): 30 - 37.
- Cao Jian-kang, Jiang Wei-bo. 2007. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables. Beijing: China Light Industry Press. (in Chinese)
- 曹建康, 姜微波. 2007. 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社.
- Dong Sheng-jun, Sun Yong-qiang, Chen Jian-hua, Lu Cai-yun, Liu Quan-gang, Liu Li-xin. 2020. Phenotypic traits diversity analysis and comprehensive evaluation of *Armeniaca vulgaris* var. *ansu* clones. Journal of Plant Genetic Resources, 21 (5): 1156 - 1166. (in Chinese)
- 董胜君, 孙永强, 陈建华, 卢彩云, 刘权钢, 刘立新. 2020. 野杏无性系表型性状多样性分析及综合评价. 植物遗传资源学报, 21 (5): 1156 - 1166.
- Feng Jing-jing, Liu Lei, Zheng Zheng, Deng Xue-bin, Liu Xi-yan, Bai Jin-rui, Shu Jin-shuai, Song Yan, Li Jun-ming. 2017. Genetic diversity of wild tomato species *Solanum pimpinellifolium*. Journal of Plant Genetic Resources, 18 (4): 611 - 619. (in Chinese)

- 冯晶晶, 刘磊, 郑峥, 邓学斌, 刘希艳, 白金瑞, 舒金帅, 宋燕, 李君明. 2017. 醋栗番茄 *Solanum pimpinellifolium* 遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 18 (4): 611 - 619.
- Han Ze-qun, Jiang Bo. 2014. A study on comprehensive evaluation of the processing tomato varieties multiple traits. Scientia Agricultura Sinica, 47 (2): 357 - 365. (in Chinese)
- 韩泽群, 姜波. 2014. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究. 中国农业科学, 47 (2): 357 - 365.
- Hu Biao-lin, Wan Yong, Li Xia, Lei Jian-guo, Luo Xiang-dong, Yan Wen-gui, Xie Jian-kun. 2012. Analysis on genetic diversity of phenotypic wits in rice (*Oryza sativa*) core collection and its comprehensive assessment. Acta Agronomica Sinica, 38 (5): 829 - 839. (in Chinese)
- 胡标林, 万勇, 李霞, 雷建国, 罗向东, 严文贵, 谢建坤. 2012. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. 作物学报, 38 (5): 829 - 839.
- Jin Feng-mei, Xue jun, Xia Shi-yun, Liu Zhong-qi. 2014. Application of SSR marker technique to the tomato genetic breeding. Tianjin Agricultural Sciences, 10 (4): 13 - 17. (in Chinese)
- 金凤媚, 薛俊, 夏时云, 刘仲齐. 2014. SSR 标记技术在番茄遗传育种上的应用. 天津农业科学, 10 (4): 13 - 17.
- Lei Xiong, You Ming-hong, Bai Shi-qie, Chen Li-li, Deng Pei-hua, Xiong Yi, Xiong Yan-li, Yu Qing-qing, Ma Xiao, Yang Jian, Zhang Chang-bing. 2020. Genetic diversity analysis and multivariate evaluation of agronomic traits of 50 oat germplasm lines in northwest Sichuan. Acta Prataculturae Sinica, 29 (7): 131 - 142. (in Chinese)
- 雷雄, 游明鸿, 白史且, 陈丽丽, 邓培华, 熊毅, 熊艳丽, 余青青, 马啸, 杨建, 张昌兵. 2020. 川西北高原 50 份燕麦种质农艺性状遗传多样性分析及综合评价. 草业学报, 29 (7): 131 - 142.
- Li He-sheng, Sun Qun, Zhao Shi-jie, Zhang Wen-hua. 2000. Principles and techniques of plant physiology and biochemical experiment. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 李合生, 孙群, 赵世杰, 章文华. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- Li Xi-xiang, Du Yong-chen. 2006. Description standard and data standard of tomato germplasm. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 李锡香, 杜永臣. 2006. 番茄种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社.
- Li Yun-zhou, Yan Jian-min, Xu Wen, Wang Yong, Liang Yan. 2019. Genetic diversity and correlation analysis of main botanical traits in tomato germplasm resources. Guizhou Agricultural Sciences, 47 (2): 68 - 74. (in Chinese)
- 李云洲, 闫见敏, 须文, 王勇, 梁燕. 2019. 番茄种质资源主要植物学性状的遗传多样性及相关性. 贵州农业科学, 47 (2): 68 - 74.
- Lin Cunxue, Yang Xiaohua, Liu Hairong. 2020. Genetic diversity analysis of 96 plum germplasm resources by phenotypic traits in northeast cold area. Acta Horticulturae Sinica, 47 (10): 1917 - 1929. (in Chinese)
- 林存学, 杨晓华, 刘海荣. 2020. 东北寒地 96 份李种质资源表型性状遗传多样性分析. 园艺学报, 47 (10): 1917 - 1929.
- Lin Wen-lei, Lü Mei-qin, Li Ming-song, Kang Rong-rong, Zeng Hong-ying, Yao Wen, Cai Jin-ling. 2018. Principal component analysis and cluster analysis of 39 spring soybean germplasm resources. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 33 (10): 1016 - 1022. (in Chinese)
- 林文磊, 吕美琴, 李明松, 康蓉蓉, 曾红英, 姚文, 蔡锦玲. 2018. 39 份春大豆种质资源的主成分分析及其聚类分析. 福建农业学报, 33 (10): 1016 - 1022.
- Lin T, Zhu G T, Zhang J H, Xu X Y, Yu Q H, Zheng Z, Zhang Z H, Lun Y Y, Li S, Wang X X, Huang Z J, Li J M, Zhang C H, Wang T T, Zhang Y Y, Wang A X, Zhang Y C, Lin K, Li C Y, Xiong G S, Xue Y B, Andrea M, Mathilde C, Fei Z J, James J G, Roger T C, Dani Z, Thomas S, Li J F, Ye Z B, Du Y C, Huang S W. 2014. Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding. Nature Genetics, 46 (11): 1220 - 1226.
- Liu Pei-jun, Wang Xiao-min, Li Guo-hua, Zheng Fu-shun, Zhao Yu-fei, Hu Xin-hua, Fu Jin-jun, Gao Yan-ming, Li Jian-she. 2020. Comprehensive evaluation of 166 tomato germplasm resources. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 42 (4): 792 - 803. (in Chinese)
- 刘珮君, 王晓敏, 李国花, 郑福顺, 赵宇飞, 胡新华, 付金军, 高艳明, 李建设. 2020. 166 份番茄种质资源的综合评价. 云南大学学报 (自然科学版), 42 (4): 792 - 803.
- Liu Xin, Chen Yunzhu, Kim Pyol, Kim Minjun, Song Hyondok, Li Yuhua, Wang Yu. 2020. Progress on molecular mechanism and regulation of tomato fruit color formation. Acta Horticulturae Sinica, 47 (6): 1689 - 1704. (in Chinese)
- 刘昕, 陈韵竹, Kim Pyol, Kim Min-jun, Song Hyondok, 李玉花, 王宇. 2020. 番茄果实颜色形成的分子机制及调控研究进展. 园艺学报, 47 (6): 1689 - 1704.

- Luo Qiao-juan, Ma Wen-jing, Su Mei-fei, Zhao Ying, Wei Xiao-hong. 2019. Comparison of nutritional characteristics and genetic tendency of different cherry tomato fruits. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 28 (8): 1282 – 1293. (in Chinese)
- 骆巧娟, 马文静, 宿梅飞, 赵颖, 魏小红. 2019. 不同樱桃番茄果实营养特性比较及遗传倾向研究. *西北农业学报*, 28 (8): 1282 – 1293.
- Nikoumanesh K, Ebadi A, Zeinalabedini M, Gogorcena Y. 2011. Morphological and molecular variability in some Iranian almond genotypes and related *Prunus* species and their potentials for rootstock breeding. *Scientia Horticulturae*, 129 (1): 108 – 118.
- Rui Wen-jing, Wang Xiao-min, Zhang Qian-nan, Hu Xue-yi, Hu Xin-hua, Fu Jin-jun, Gao Yan-ming, Li Jian-she. 2018. Genetic diversity analysis of 353 tomato germplasm resources by phenotypic traits. *Acta Horticulturae Sinica*, 45 (3): 561 – 570. (in Chinese)
- 芮文婧, 王晓敏, 张倩男, 胡学义, 胡新华, 付金军, 高艳明, 李建设. 2018. 番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析. *园艺学报*, 45 (3): 561 – 570.
- Sun Ya-dong, Liang Yan, Wu Jiang-min, Zhang Fei, Yan Jian-min. 2009. Genetic diversity and cluster analysis of tomato germplasm resources. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 18 (5): 297 – 301. (in Chinese)
- 孙亚东, 梁燕, 吴江敏, 张飞, 闫见敏. 2009. 番茄种质资源的遗传多样性和聚类分析. *西北农业学报*, 18 (5): 297 – 301.
- Wan Xue-shan, Liu Wen-ge, Yan Zhi-hong, Zhao Sheng-jie, He Nan, Liu Peng, Dai Jun-wei. 2011. Changes of the contents of functional substances including lycopene, citrulline and ascorbic acid during watermelon fruits development. *Scientia Agricultura Sinica*, 44 (13): 2738 – 2747. (in Chinese)
- 万学闪, 刘文革, 阎志红, 赵胜杰, 何楠, 刘鹏, 代军委. 2011. 西瓜果实发育过程中番茄红素、瓜氨酸和 Vc 等功能物质含量的变化. *中国农业科学*, 44 (13): 2738 – 2747.
- Wu Li-yan, Gong Ya-ju, Li Zhi-bin, Bao Rui, Zhong Li, Liang Ming-tai. 2012. Multivariate statistical analysis of fruit characters of cherry tomato germplasm resources. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 25 (5): 1818 – 1822. (in Chinese)
- 吴丽艳, 龚亚菊, 黎志彬, 鲍锐, 钟利, 梁明泰. 2012. 樱桃番茄种质资源果实相关性状的多元统计分析. *西南农业学报*, 25 (5): 1818 – 1822.
- Xu Yi-kang, Gao Fei, Shi Liu, Sun Xia-li, Wang Fang, Xu Shuang-shuang, Zang Yun-xiang. 2018. Evaluation of eight Chinese cabbage cultivars using the membership function method. *Journal of Zhejiang Agriculture and Forestry University*, 35 (5): 64 – 71. (in Chinese)
- 徐义康, 高飞, 施柳, 孙夏莉, 王方, 许双双, 臧运祥. 2018. 利用隶属函数法综合评价 8 个大白菜品种性状. *浙江农林大学学报*, 35 (5): 64 – 71.
- Yuan Dong-sheng, Wang Xiao-min, Zhao Yu-fei, Pan Bing-qing, Bai Rong-rong, Hu Xin-hua, Fu Jin-jun, Gao Yan-ming, Li Jian-she. 2019. Genetic diversity analysis of 100 tomato germplasm resources based on phenotypic traits. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 28 (4): 594 – 601. (in Chinese)
- 袁东升, 王晓敏, 赵宇飞, 潘兵青, 白娉娉, 胡新华, 付金军, 高艳明, 李建设. 2019. 100 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性分析. *西北农业学报*, 28 (4): 594 – 601.
- Zhang Zhi-an, Zhang Mei-shan. 2006. Guidance of plant physiology experiment. Changchun: Jilin University Press. (in Chinese)
- 张治安, 张美善. 2006. 植物生理学实验指导. 长春: 吉林大学出版社.
- Zheng Jin-rong, Li Yan-hong, Nie Jun, Tan De-long, Xie Yu-ming, Zhang Chang-yuan. 2020. Overview and research progress of protected cherry tomato industry. *Guangdong Agricultural Sciences*, 47 (12): 212 – 220. (in Chinese)
- 郑锦荣, 李艳红, 聂俊, 谭德龙, 谢玉明, 张长远. 2020. 设施樱桃番茄产业概况及研究进展. *广东农业科学*, 47 (12): 212 – 220.
- Zhou R, Wu Z, Cao X, Jiang, F. L. 2015. Genetic diversity of cultivated and wild tomatoes revealed by morphological traits and SSR markers. *Genetics and Molecular Research*, 14 (4): 13868.
- Zhou Rong, Jiang Fang-ling, Liang Mei, Zou Tao, Liu Xiao-juan, Cao Xue, Wu Zhen. 2012. Evaluation and genetic diversity of tomato varieties based on phenotypic traits. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 21 (9): 95 – 102. (in Chinese)
- 周蓉, 蒋芳玲, 梁梅, 邹滔, 刘小娟, 曹雪, 吴震. 2012. 基于表型性状的番茄品种评价和遗传多样性分析. *西北农业学报*, 21 (9): 95 – 102.