

番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析

芮文婧¹, 王晓敏^{1,2,3,*}, 张倩男¹, 胡学义³, 胡新华⁴, 付金军⁴, 高艳明^{1,2,3}, 李建设^{1,2,3,*}

(¹宁夏大学农学院, 银川 750021; ²宁夏设施园艺(宁夏大学)技术创新中心, 银川 750021; ³宁夏现代设施园艺工程技术研究中心, 银川 750021; ⁴宁夏巨丰种苗有限责任公司, 银川 750021)

摘 要: 对番茄 353 份种质资源的 13 个质量性状和 16 个数量性状进行变异水平评价、相关性分析及主成分分析。结果表明: 供试材料的表型性状具有丰富的遗传多样性, 在质量性状中 Shannon-Wiener 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%); 各性状间存在复杂的相互关系; 前 9 个主成分的累计贡献率为 64.83%, 包含了全部指标的大部分信息。基于表型性状, 采用系统聚类组间聚合的方法在遗传距离为 17.5 处将供试的 353 份资源划分为 6 个组群, 第 5 组群包含 138 份资源, 主要特点为果实圆形, 生长习性为有限生长; 第 6 组群包含 203 份资源, 主要特点为单果质量小, 生长习性为无限生长。

关键词: 番茄; 种质资源; 遗传多样性; 表型性状

中图分类号: S 641.2

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2018) 03-0561-10

Genetic Diversity Analysis of 353 Tomato Germplasm Resources by Phenotypic Traits

RUI Wenjing¹, WANG Xiaomin^{1,2,3,*}, ZHANG Qiannan¹, HU Xueyi³, HU Xinhua⁴, FU Jinjun⁴, GAO Yanming^{1,2,3}, and LI Jianshe^{1,2,3,*}

(¹School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; ²Ningxia Facility Horticulture (Ningxia University) Technology Innovation Center, Yinchuan 750021, China; ³Ningxia Modern Facility Horticulture Engineering Technology Research Center, Yinchuan 750021, China; ⁴Ningxia Jufeng Seedlings Limited Liability Company, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Variation evaluation, genetic correlation analysis and principal component analysis were carried out by 13 qualitative and 16 quantitative traits to study the genetic diversity of 353 tomato germplasm resources. The results showed that the genetic diversity of phenotypic traits was rich in these tomato germplasms. In qualitative traits, the highest Shannon-Wiener diversity index was growth vigor (1.50). In quantitative traits, the highest genetic diversity indexes were leaf length (2.07) and leaf width (2.07), and the highest coefficient variation (*CV*) was the fruit cracking rate (73.08%). There was a complex relationship among these traits. The cumulative contribution rate of the first 9 principal components was 64.83%, which contains most information of all indicators. The 353 tomato resources were divided into 6 groups at the genetic distance of 17.5 by means of systematic clustering and inter

收稿日期: 2017-12-29; 修回日期: 2018-02-26

基金项目: 宁夏回族自治区农业育种专项项目 (NXNYYZ20150303); 宁夏园艺优势特色学科 (2016) 建设项目

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wangxiaomin_1981@163.com; jslinxcn@163.com)

group aggregation. The group V contained 138 resources mainly characterized by round fruit shape and limited growth habit. Group VI contained 203 resources mainly characterized by small single fruit weight and unlimited growth habit.

Keywords: tomato; germplasm resource; genetic diversity; phenotypic trait

番茄 (*Solanum lycopersicum*) 是严格的自花授粉植物。经过长期的驯化和选育, 番茄的遗传背景逐渐变窄, 因此通过广泛地收集来丰富番茄的种质资源对其育种极为重要。

植物表型的变化反映了基因型对环境变化的适应, 植物表型在长期的压力选择中发生不可逆的变化, 经稳定遗传后产生新的基因型。因此, 表型变异往往在适应和进化上有重要意义 (Pigliucci et al., 2006)。

为了提高番茄育种的选择效率, 有必要对其不同表型性状间的相互关系及其遗传多样性进行分析。目前有关番茄种质资源多样性的研究报道较多。孙亚东等 (2009) 对 50 份来自不同国家和地区的番茄育种材料进行了鉴定分析, 结果表明: 22 个性状的变异系数在 12.06% ~ 62.26% 之间, 通过聚类分析将其划分为 4 大类群, 并发现 4 个材料性状表现突出, 具有一定的利用价值。金凤媚等 (2004) 通过测定加工番茄品质性状的遗传多样性, 将其分成 4 大类群, 将果实硬度大、含水量低、软化速度慢、可溶性固形物含量高、果形长圆的聚为一类。王日升等 (2005) 选用 11 个形态性状测定了 11 个番茄品种的遗传多样性, 认为可根据果肉颜色及其果实大小将供试材料分组。Rao 等 (2012) 结合表型性状和 SSR 标记对亚洲蔬菜研究发展中心 (AVRDC, Asian Vegetable Research and Development Center) 收集到的起源于 14 个国家的 190 份醋栗番茄进行了遗传多样性分析, 明确了群体结构。

主成分分析和聚类分析是遗传多样性分析中普遍应用的方法之一 (Martynov & Dobrotvorskaya, 2006; Masumbuko & Bryngelsson, 2006), 目前在加工番茄 (韩泽群和姜波, 2014)、华南型黄瓜 (史建磊 等, 2016)、梨 (张莹 等, 2016)、普通菜豆 (王兰芬 等, 2016)、陆地棉 (代攀虹 等, 2016)、水稻 (李振姣 等, 2016) 和云南苦荞 (李春花 等, 2016) 等许多种作物中均有应用。韩泽群和姜波 (2014) 利用主成分分析和聚类分析对新疆地区加工番茄的主要农艺性状进行了综合分析。杨生保等 (2015) 对番茄 ILs 果实性状进行主成分分析和聚类分析, 发现 7 个果实性状可简化为 3 个主成分, 利用类平均法的欧氏距离可将其分为 3 大类群。

本研究中主要针对收集到的 353 份番茄种质表型多样性进行研究, 利用主成分分析和聚类分析方法从形态学水平上研究其遗传多样性, 明确番茄表型变异的丰富程度及不同种质间的遗传关系, 确定其相对合理的评价指标, 为番茄种质资源研究和育种提供参考和依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验材料为宁夏大学农学院园林系蔬菜课题组和宁夏巨丰种苗有限责任公司所收集的 353 份番茄种质资源材料, 其中来自中国的种质资源 205 份 (广东 102 份, 广西 58 份, 贵州 3 份, 海南 1 份, 湖南 39 份, 江西 2 份); 来源于外国的 109 份 (以色列 1 份, 泰国 2 份, 荷兰 106 份), 另有来源地不详的 39 份。

2016 年 4 月 15 日育苗, 基质为草炭和蛭石 (2:1) 及有机肥料。育苗初期 2~3 d 浇 1 次水, 不施肥; 两叶一心后每天浇 1 次水, 3 d 施 1 次氮钾肥; 5~6 片真叶时, 5 月 25 日选取大小一致的幼苗定植于宁夏大学试验农场番茄育种基地露地。土壤类型为壤土, 肥力中等。

采用随机区组设计, 半高垄双行栽培, 垄高 20 cm, 畦宽 70 cm, 株距 40 cm, 每份资源定植 40 株, 常规田间管理。

1.2 性状调查

表型性状的调查参照《番茄种质资源描述规范和数据标准》(李锡香和杜永臣, 2006) 结合番茄生长的实际情况略作修改。

(1) 首花序节位、叶片长、叶片宽、单花序果数、果柄长度和裂果率等 6 个数量性状, 每个资源随机调查 10 株。

(2) 果梗洼大小、果实纵径、果实横径、果形指数、单果质量、可溶性固形物含量 (TD-45 手持数显糖度计测定)、硬度 (GY-4 数字式果实硬度计测定)、果肉厚、心室数和单果种子数等 10 个数量性状, 每个资源随机抽样 5 株, 总共采收 10 个达到商品成熟度的正常果实进行调查, 记录各个指标并根据调查的数量对数量性状进行平均值处理。

(3) 花柱长度、花梗离层、叶片类型、叶片形状、叶片颜色、叶片着生状态、生长习性、熟性、生长势、畸形果、成熟果色、果肩有无、果面棱沟等 13 个质量性状进行描述分级 (表 1)。

1.3 数据标准化处理及统计分析

计算各质量性状类型分布频率以及遗传多样性指数和各数量性状的最小值、最大值、平均值、标准差、变异系数和多样性指数 [将所有材料的每个性状利用数据的平均值和标准差进行 10 个等级的划分, 每 0.5σ 为一级, σ 为标准差, 计算 Shannon-Wiener 多样性指数 (H')]。利用 SPSS 20.0 进行相关性分析和主成分分析, 基于番茄 29 个表型性状, 采用系统聚类组间聚合的方法对 353 份番茄种质资源进行聚类, 采用平方欧式距离得到近似矩阵。

2 结果与分析

2.1 番茄种质资源表型性状的多样性分析

2.1.1 质量性状

番茄种质资源的质量性状分析统计 (表 1) 显示, 13 个质量性状在供试的 353 份种质资源中共检测到 40 个变异类型, 平均每个性状的变异类型为 3.08 个, 各个性状的变异类型频率分布不相同。

Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 变化范围为 0.06~1.50。 H' 超过 1.0 的是叶片颜色和生长势。生长势的 H' 最高, 达到 1.50, 其中生长势极强这个性状的分布频率达到 30.59%;

叶片颜色以绿为主, 其分布频率为 42.20%, 仅有 13 份种质为黄绿色。

叶片类型 H' 最低, 为 0.06, 供试种质叶片类型大多数表现为普通叶, 其分布频率高达 98.87%。花柱长度的 H' 为 0.85, 其中花柱短于雄蕊的为主要类型, 分布频率为 58.36%。

花梗离层的 H' 为 0.30, 主要为有离层, 分布频率高达 91.21%。

叶片形状主要以羽状复叶为主, 占供试材料的 83%。

叶片着生状态以下垂为主, 占供试材料的 60.62%。

生长习性以无限生长为主，占供试材料的 60.34%。
 熟性的 H' 为 0.78，主要以早熟类型为主，分布频率达到 68.83%。
 畸形果的 H' 为 0.52，78.19% 的供试材料表现出无畸形果。
 成熟果色的变异类型最为丰富，以红色为主，占总共调查种质材料的 77.62%。
 果肩以无果肩为主，占 85.55%。
 果面棱沟以轻为主，占 79.89%。

表 1 质量性状分类及资源分布
Table 1 Grades and distribution of quality traits

性状 Trait	遗传多样性指数 H'	性状描述级别 Character description level	资源份数 Accession	分布频率/% Distribution frequency
花柱长度 Style length	0.85	短于雌蕊 Shorter than stamen	206	58.36
		近等长 Nearly the same level as stamen	125	35.41
		长于雌蕊 Longer than stamen	22	6.23
花梗离层 Abscission layer	0.30	无 Abscission	30	8.78
		有 Layer	323	91.21
叶片类型 Leaf type	0.06	普通叶 Common leaf	349	98.87
		薯叶 Potato leaf type	4	1.13
		复宽叶 Broad compound leaf	0	—
		复细叶 Slender compound leaf	0	—
叶片形状 Leaf shape	0.46	羽状复叶 Prinnate compound leaf	293	83.00
		二回羽状复叶 Bipinnate compound leaf	60	17.00
叶片颜色 Leaf color	1.19	黄绿 Yellowish green	13	3.68
		浅绿 Light green	108	30.59
		绿 Green	149	42.20
		深绿 Dark green	83	23.51
叶片着生状态 Leaf state	0.85	直立 Erect	24	6.80
		水平 Horizontal	115	32.58
		下垂 Pendant	214	60.62
生长习性 Growth habit	0.67	无限生长 Indeterminate	213	60.34
		有限生长 Determinate	140	39.66
熟性 Maturity	0.78	极早 Very early	1	0.28
		早 Early	243	68.83
		中 Intermediate	89	25.21
		晚 Late	20	5.67
		极晚 Very late	0	—
生长势 Growth potential	1.50	极弱 Very weak	22	6.23
		弱 Weak	66	18.70
		中 Intermediate	64	18.13
		强 Strong	93	26.35
		极强 Very strong	108	30.59
畸形果 Abnormal fruit	0.52	无 Absent	276	78.19
		有 Present	77	21.81
成熟果色 Color of matured fruit	0.72	黄 Yellow	8	2.27
		绿 Green	9	2.55
		粉红 Pinkish red	58	16.43
		红 Red	274	77.62
		深红 Dark red	4	1.13
果肩有无 Fruit shoulder	0.41	无 Absent	302	85.55
		有 Present	51	14.45
果面棱沟 Fruit surface furrow	0.63	无 None	53	15.01
		轻 Tiny	282	79.89
		中 Intermediate	16	4.53
		重 Prominent	2	0.57

2.1.2 数量性状

353 份番茄种质资源数量性状的变异系数在 11.87%~96.56%之间, 遗传多样性指数 (H') 在 0.68~2.07, 多样性丰富 (表 2)。

果实纵径, 果实横径, 果形指数, 果梗洼大小都是番茄果实外观的主要指标, 其中果梗洼大小的变异系数最大, 为 36.63%。

在品质性状中, 果实硬度、可溶性固形物和裂果率中, 裂果率的变异系数最大, 为 73.08%, H' 最小, 为 0.68。

果实产量指标中, 单花序果数和单果质量中单花序果数的变异系数最大, 为 96.56%。

叶片长与叶片宽的 H' 最大均为 2.07; 首花序节位的变异系数最小, 为 11.87%; 心室数和果肉厚的 H' 分别为 1.92 和 2.00。

由此可见, 供试的 353 份种质材料具有丰富的遗传多样性, 是重要的种质资源。

表 2 番茄种质资源数量性状遗传多样性分析
Table 2 Analysis of genetic diversity of quantitative traits of tomato germplasm

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	标准差 SD	平均值 Mean	变异系数/% CV	遗传多样性指数 H'
首花序节位 The leaf node below the first inflorescence	11.00	5.00	0.89	7.46	11.87	2.02
果柄长度/cm Pedicel length	4.26	0.52	0.63	1.49	42.57	1.57
果实纵径/cm Longitudinal diameter of fruit	11.39	2.31	0.97	6.47	15.07	1.93
果实横径/cm Transverse diameter of fruit	9.63	2.26	1.28	6.82	18.78	2.01
果形指数 Fruit shape index	2.59	0.69	0.25	0.98	24.92	1.50
果梗洼大小/cm Size of cordy area around pedicel scar	1.73	0.16	0.31	0.83	36.63	2.05
果肉厚/cm Flesh thickness	1.42	0.19	0.14	0.70	20.30	2.00
心室数 Number of locules	10.33	2.00	1.43	4.12	34.67	1.92
单果种子数 Seed number per fruit	241.67	12.00	35.94	106.30	33.81	2.05
单花序果数 Number of fruit per inflorescence	86.00	1.80	5.44	5.63	96.56	0.84
单果质量/g Weight per fruit	414.08	7.02	75.85	180.38	42.05	2.05
可溶性固形物/% Soluble solids content	8.22	2.00	0.76	3.64	20.80	1.95
果实硬度/($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$) Hardness	8.90	1.20	0.84	2.79	30.14	1.82
叶片长/cm Leaf length	55.80	22.40	5.19	38.77	13.38	2.07
叶片宽/cm Leaf width	49.80	20.20	4.88	34.77	14.04	2.07
裂果率/% Crack fruit rate	95.00	0	0.24	33.00	73.08	0.68

2.2 番茄种质资源数量性状相关性分析

性状的相关性可以通过一种性状的选择间接达到选择另一种性状的效果, 从而可以提高选择效率, 加快育种的进程 (刘子记 等, 2016)。

对 16 个数量性状进行相关性分析。结果 (表 3) 表明, 大部分为性状之间存在显著或极显著相关性, 果柄长度与果实纵径和果形指数显著正相关, 果实横径与果梗洼大小, 心室数和单果质量显著正相关, 果梗洼大小与心室数和单果质量显著正相关, 果肉厚与果实硬度显著正相关, 心室数与单果种子数和单果质量显著正相关, 单花序果数与单果质量显著负相关, 单果质量与叶片长显著正相关, 果实硬度与裂果率显著负相关, 叶片长与叶片宽显著正相关, 叶片宽与裂果率显著负相关。

表3 番茄 353 份种质的 16 个数量性状相关性分析
Table 3 Correlation analysis of 16 quantitative traits of 353 tomato germplasm accessions

性状 Trait	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							
2	0.038	1						
3	-0.172**	0.219**	1					
4	-0.128*	-0.790	0.411**	1				
5	-0.011	0.225**	0.377**	-0.659**	1			
6	-0.135*	-0.051	0.339**	0.603**	-0.333**	1		
7	0.117*	0.133*	0.212**	0.155**	-0.051	0.016	1	
8	-0.185**	-0.165**	0.296**	0.689**	-0.413**	0.518**	-0.184**	1
9	-0.042	-0.065	0.160**	0.481**	-0.359**	0.302**	0.000	0.464**
10	0.032	-0.060	-0.434**	-0.447**	0.147**	-0.292**	-0.299**	-0.273**
11	-0.190**	-0.017	0.509**	0.883**	-0.445**	0.546**	0.046	0.693**
12	0.022	-0.165**	-0.355**	-0.320**	0.127*	-0.228**	-0.264**	-0.123*
13	0.070	0.037	0.026	0.034	-0.032	0.031	0.427**	-0.111*
14	-0.001	-0.035	-0.063	0.192**	-0.228**	-0.110*	0.252**	0.012
15	-0.004	0.049	-0.029	0.137**	-0.174**	-0.119*	0.234**	0.004
16	-0.023	-0.023	0.118*	0.043	0.049	0.122*	0.212**	0.209**
性状 Trait	9	10	11	12	13	14	15	16
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9	1							
10	-0.240**	1						
11	0.471**	-0.350**	1					
12	-0.220**	0.284**	-0.245**	1				
13	-0.070	-0.083	-0.011	-0.071	1			
14	0.049	-0.032	0.158**	-0.007	0.097	1		
15	0.018	-0.057	0.125*	-0.074	0.065	0.793**	1	
16	0.179**	-0.092	0.096	-0.022	-0.140**	-0.205**	-0.194**	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：果柄长度；3：果实纵径；4：果实横径；5：果形指数；6：果梗洼大小；7：果肉厚；8：心室数；9：单果种子数；10：单花序果数；11：单果质量；12：可溶性固形物；13：果实硬度；14：叶片长；15：叶片宽；16：裂果率。

Note: * means significance at the level of 0.05. ** means significance at the level of 0.01. 1: The leaf node below the first inflorescence; 2: Pedicel length; 3: Longitudinal diameter of fruit; 4: Transverse diameter of fruit; 5: Fruit shape index; 6: Size of cordy area around pedicel scar; 7: Flesh thickness; 8: Number of locules; 9: Number of single fruit seeds; 10: Number of fruit per inflorescence; 11: Weight per fruit; 12: Soluble solids content; 13: Hardness; 14: Leaf length; 15: Leaf width; 16: Crack fruit rate.

2.3 番茄种质资源表型性状的主成分分析

通过对 353 份番茄种质资源 29 个表型性状进行主成分分析，能够更加清楚地显示各表型性状在番茄多样性构成中的作用，把多指标转换为少数几个综合指标。主成分的特征值和贡献率是选择主成分的依据，以特征值大于 1 为标准提取成分（魏仕伟 等，2016）。前 9 个主成分的累计贡献率为 64.83%，包含了全部指标的大部分信息（表 4），表明这 9 个主成分能代表这 29 个性状所代表的遗传信息。

第 1 主成分特征值为 4.861，贡献率为 16.763%，主要是果实横径，心室数，单果质量，果梗洼大小和单果种子数等，其特征向量都在 0.60 以上，这类性状主要与番茄果实和种子有关。第 2 主成分的特征值为 3.701，贡献率为 12.763%，主要由叶片长，叶片宽，生长势，生长习性等决定，其特

征向量分别为 0.756, 0.636, 0.841, -0.794, 这类性状主要与番茄叶和植株有关。第 3 主成分的特征值为 2.383, 贡献率为 8.219%, 主要是果实纵径, 果肉厚, 可溶性固形物, 硬度, 这些性状主要是番茄果实品质的主要指标。第 4 主成分中成熟果色和熟性具有较大正向特征向量, 分别为 0.658 和 0.600。第 5 主成分主要是叶片宽和果实青肩。根据贡献率特征值的大小从主成分中所选择的果实纵径, 果实横径, 单果质量, 心室数, 果梗洼大小, 可溶性固形物, 成熟果色, 硬度, 单果种子数, 叶片长, 叶片宽等性状是造成番茄种质资源表型差异的主要因素, 可视为今后番茄创新育种中进行种质资源评价和亲本选择的主要形态指标。

表 4 番茄 353 份种质资源 29 个农艺性状的主成分分析
Table 4 Principal component analysis of 29 agronomic traits of 353 tomato germplasm accessions

性状 Trait	主成分 Principal component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
首花序节位 First inflorescence	-0.224	0.173	0.050	-0.119	-0.373	0.093	-0.007	-0.260	0.541
果柄长度 Pedicel length	-0.092	-0.059	0.479	-0.198	0.095	0.397	0.073	-0.215	-0.331
果实纵径 Longitudinal diameter	0.492	-0.357	0.550	-0.116	0.152	0.078	0.242	0.273	0.059
果实横径 Transverse diameter	0.981	0.164	0.009	-0.098	-0.068	-0.157	0.028	-0.075	-0.072
果形指数 Fruit shape index	-0.524	-0.435	0.351	0.012	0.208	0.237	0.213	0.336	0.113
果梗洼大小 Size of pedicel scar	0.655	-0.138	0.006	0.035	-0.039	-0.207	0.101	-0.248	-0.085
果肉厚 Flesh thickness	0.117	0.355	0.665	0.078	-0.233	-0.051	-0.056	0.068	0.194
心室数 Number of locules	0.812	-0.076	-0.292	0.033	0.086	0.127	-0.039	0.014	-0.056
单果种子数 Seed number per fruit	0.603	-0.011	-0.107	0.020	0.112	0.091	-0.176	-0.343	0.128
单花序果数 Fruit per inflorescence	-0.515	0.030	-0.349	0.134	0.081	-0.038	0.007	-0.019	-0.323
单果质量 Weight per fruit	0.888	0.038	0.010	-0.099	0.062	-0.046	0.112	0.036	-0.128
可溶性固形物 Soluble solids content	-0.346	0.086	-0.499	0.157	-0.026	0.150	0.173	0.237	-0.053
硬度 Hardness	0.013	0.309	0.437	0.544	-0.274	-0.051	0.129	-0.025	0.033
叶片长 Leaf length	0.113	0.756	0.090	-0.189	0.355	-0.053	-0.073	0.272	0.085
叶片宽 Leaf width	0.069	0.636	0.182	-0.238	0.453	-0.045	-0.185	0.238	0.044
裂果率 Crack fruit rate	0.108	-0.347	-0.108	0.157	0.317	0.128	0.253	-0.185	0.381
花柱比雄蕊长度 Style length than stamens	-0.215	0.119	0.238	0.008	0.225	0.123	-0.531	-0.336	-0.123
花梗离层 Peduncle abscission layer	0.283	0.244	-0.409	0.228	-0.141	-0.343	0.078	0.268	0.047
成熟果色 Color of material fruit	-0.198	-0.180	-0.170	-0.658	-0.131	-0.217	0.069	0.021	0.096
果面棱沟 Fruit surface furrows	0.579	0.084	-0.015	-0.184	-0.149	0.314	-0.019	0.163	0.158
果实青肩 Fruit shoulder	0.002	0.234	-0.320	0.303	0.448	0.153	0.009	-0.128	0.292
叶片类型 Leaf type	0.032	-0.078	-0.220	-0.034	-0.392	0.309	-0.405	0.220	0.194
叶片形状 Leaf shape	-0.086	0.291	-0.089	-0.059	-0.074	0.347	0.545	-0.252	-0.072
叶色 Leaf color	0.008	0.473	-0.031	-0.255	-0.253	0.170	0.265	0.014	-0.109
生长势 Growth potential	-0.243	0.841	-0.018	-0.120	-0.030	-0.017	0.037	-0.119	-0.011
叶片着生状态 Leaf state	-0.107	0.124	0.100	0.196	0.339	-0.249	0.196	-0.069	0.168
生长习性 Growth habit	0.162	-0.794	0.121	0.130	0.014	-0.242	-0.166	0.098	-0.009
熟性 Maturity	0.223	0.361	0.188	0.600	-0.176	0.173	-0.060	0.131	-0.154
畸形果率 Abnormal fruit	0.348	0.073	-0.317	0.033	0.100	0.563	-0.119	0.138	-0.028
特征值 Eigen value	4.861	3.701	2.383	1.662	1.503	1.330	1.228	1.119	1.012
贡献率/% Contribution	16.763	12.763	8.219	5.732	5.184	4.587	4.235	3.859	3.489
累计贡献率/% Cumulative percentage	16.763	29.526	37.744	43.476	48.660	53.247	57.482	61.341	64.830

2.4 番茄种质资源的聚类分析

基于表型性状对番茄 353 份种质资源进行聚类分析, 在遗传距离为 17.5 处聚为 6 大组群, 不同组群番茄种质的表型性状具有一定差异。

第 1 组群只包括 1 份来自中国海南地区资源。其主要特征是果柄长度大, 果梗洼小, 果肉厚度小, 单果种子数少, 单花序果数多, 单果质量小, 叶片宽, 裂果率少, 果色为红, 果面有棱沟, 叶片着生状态直立。其中单花序果数是衡量番茄高产的主要指标之一, 所以该种质资源可用于制种番茄的品种改良和选育高产番茄。

第2组群包含2个材料,来自泰国。其主要特征是果实横径大,果形指数小,果梗洼大,心室数多,单花序果数少但是单果质量大,硬度小,叶片长,裂果率大,早熟,畸形果率为5%,可用于选育早熟类番茄种质资源,同时这2个材料的性状表现相似度达到99%,推断得出可能为同一个材料。

第3组群包含1份材料,来自于以色列。其主要特征是相比较其他类群的番茄果梗洼、果肉厚、单果种子数、硬度都表现最大,晚熟,叶片着生状态下垂,为二回羽状,果实硬度是番茄耐贮藏的重要指标,所以该种质资源可用于培育晚熟耐储用的品种。

第4组群包含8份材料,主要是小果番茄,其中来自于中国广西5份,贵州3份。果柄长度短,果实纵径和横径小,果梗洼小,果肉厚度小,心室数少,可溶性固形物高,生长势强,畸形果率低,该类番茄可用于选育品质好,外形优良的番茄。

第5组群包含138份材料,占供试材料的40.51%,其中来源于荷兰106份,来源不详32份。主要表现为果形指数近似1,果实近乎圆形,可溶性固形物少,叶片长小,裂果率大,果面棱沟浅,叶片类型为普通叶,生长习性为有限生长。因为有限生长的番茄植株矮小,早熟,对于此类材料可以改良其果实大小和颜色等性状,将其选育为观赏番茄品种,同时可以选育早熟类品种。

第6组群材料最多(203份),占57.5%,包括广东102份,广西53份,湖南39份,江西2份,来源不详7份。其主要特征为:大部分果实心室数小,果面棱沟浅,生长习性都为无限生长,单果质量小,畸形果率低,叶色深绿。一般无限生长的番茄品种植株比较高,所以可以充分利用这类资源培育中晚熟高产的番茄品种。

3 讨论

本研究中通过对353份番茄种质资源29个表型性状遗传多样性分析,并利用主成分和聚类分析方法挖掘其育种价值,发现供试资源的表型性状具有丰富的遗传变异,13个质量性状中检测到40个变异类型,16个数量性状变异系数为11.87%~96.00%,其中单花序果数的变异系数最大,为96.56%,可能的原因是数量性状受多基因控制。本试验采用露地栽培,环境因素影响较大;叶片长和叶片宽的多样性指数最大,均为2.07。供试材料中98.87%的番茄材料表现为普通叶型;91.21%的材料表现为有离层;85.55%表现为无果肩;68.83%表现为早熟类型,这也说明了目前番茄育种的目标和育种方向主要是普叶,有离层,无果肩,早熟。对16个数量性状的相关性进行分析,结果表明:果柄长度、果实纵径、果实横径、果梗洼大小、单果质量、心室数,这几个果实性状彼此间存在较程度的相关性,而可溶性固形物与其他性状多呈负相关,这个结果与前人研究结果(Bernacchi et al, 1998; Ökmen et al., 2011)相似。通过对29个表型性状进行主成分分析,根据贡献率的大小从主成分中所选择的果实纵横径,单果质量,心室数,果梗洼大小,可溶性固形物,成熟果色,硬度,单果种子数,叶片长,叶片宽等性状是造成番茄种质资源表型差异的主要因素,这与前人得出的果实性状因子、果实内在品质因子、果实外观品质因子及产量因子可用于对番茄品质综合评定的结果(韩泽群和姜波, 2014)基本一致,这些性状可作为番茄育种亲本评价和选择的主要形态指标。

聚类结果显示,来源于中国国内的供试材料在聚类的各类群中均有分布,说明经过多年的引种育种实践,国内的番茄品种资源已经较丰富,基本上已经改变了育种材料来源比较单一的局面。另外发现,不同地区的番茄表型变异较大,同一地区并没有完全聚在一起,尤其是位于广西的种质资

源, 可能与番茄果形大小有关。聚类分析结果可以使杂交育种有目的地进行种质资源的优化组合, 采用最佳方案, 经过选育最终培育出适合不同利用价值的番茄品种。

形态学标记研究也就是植物表型性状的研究, 是检测遗传变异最传统, 最直观的方法。形态多样性评价是种质资源鉴定和保护的重要步骤, 在确定种质资源适应性、综合农艺性状潜力及育种价值方面能起到关键作用(刘胤 等, 2016)。表型特征是环境和遗传综合作用的结果, 但是利用表型鉴定易受环境及栽培因素的影响, 单从形态学上研究遗传多样性具有一定的局限性(万述伟 等, 2017)。随着现代分子生物技术的发展, 分子标记技术已成为植物遗传多样性研究的主要手段, 为了更好地研究番茄种质资源遗传的多样性, 有必要将两种技术有效的结合, 为番茄育种提供有力的理论依据。

References

- Bernacchi D, Beck-bunn T, Eshed Y, Lopez J, Petiard V, Uhlig J, Zamir D, Tanksley S. 1998. Advanced backcross QTL analysis in tomato. I. Identification of QTLs for traits of agronomic importance from *Lycopersicon hirsutum*. Theor Appl Genet, 97: 381 - 397.
- Dai Pan-hong, Sun Jun-ling, He Shou-pu, Wang Li-ru, Jia Yin-hua, Pan Zhao-e, Pang Bao-yin, Du Xiong-ming, Wang Mi. 2016. Comprehensive evaluation and genetic diversity analysis of phenotypic traits of core collection in upland cotton. Scientia Agricultura Sinica, 49 (19): 3694 - 3708. (in Chinese)
- 代攀虹, 孙君灵, 何守朴, 王立如, 贾银华, 潘兆娥, 庞保印, 杜雄明, 王 谧. 2016. 陆地棉核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价. 中国农业科学, 49 (19): 3694 - 3708.
- 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.
- Jin Feng-mei, Xue Jun, Xia Shi-yun, Liu Zhong-qi. 2004. Application of SSR marker technique to the tomato genetic breeding. Tianjin Agricultural Sciences, 10 (4): 13 - 17. (in Chinese)
- 金凤媚, 薛 俊, 夏石云, 刘仲齐. 2004. 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.
- Li Chun-hua, Yin Gui-fang, Wang Yan-qing, Sun Dao-wang, Lu Wen-jie, Chen Rui-kun, Wang Li-hua. 2016. Analysis of genetic diversity of main characters of tartary buckwheat germplasm resources in Yunnan. Germplasm Resources Journal of Plant Genetic Resources, 17 (6): 993 - 1000. (in Chinese)
- 李春花, 尹桂芳, 王艳青, 孙道旺, 卢文洁, 陈襄坤, 王莉花. 2016. 云南苦荞种质资源主要性状的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 17 (6): 993 - 1000.
- Li Xi-xiang, Du Yong-chen. 2006. Descriptors and data standard for tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). 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 Zhen-jiao, Ma Si-shuang, Bu Li-qun, Li Yao-dong, Tang Hui, Zhang Yin-xia, Tian Lei, Li Pei-fu. 2016. Genetic diversity analysis of phenotypic traits of rice germplasm resources in Ningxia. Jiangsu Agriculture Science, 44 (8): 117 - 121. (in Chinese)
- 李振姣, 马斯霜, 部丽群, 李耀东, 唐 辉, 张银霞, 田 蕾, 李培富. 2016. 宁夏外引水稻种质资源表型性状遗传多样性分析. 江苏农业科学, 44 (8): 117 - 121.
- Liu Yin, Chen Tao, Zhang Jing, Wang Jue, Wang Hao, Tang Hao-ru, Wang Xiao-rong. 2016. Genetic diversity analysis of chinese cherry landraces (*Prunus pseudocerasus*) based on phenotypic traits. Acta Horticulturae Sinica, 43 (11): 2119 - 2132. (in Chinese)
- 刘 胤, 陈 涛, 张 静, 王 珏, 王 浩, 汤浩茹, 王小蓉. 2016. 中国樱桃地方种质资源表型性状遗传多样性分析. 园艺学报, 43 (11): 2119 - 2132.
- Liu Zi-ji, Shen Long-bin, Yang Yan, Cao Zhen-mu. 2016. Genetic diversity and genetic relationship of sweet pepper core germplasm. Jiangsu Agriculture Science, 44 (5): 199 - 202. (in Chinese)

- 刘子记, 申龙斌, 杨 衍, 曹振木. 2016. 甜椒核心种质遗传多样性与亲缘关系分析. *江苏农业科学*, 44 (5): 199 - 202.
- Martynov S P, Dobrotvorskaya T V. 2006. Genealogical analysis of diversity of Russian winter wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Gene Res Crop Evo*, 53: 379 - 386.
- Masumbuko L I, Bryngelsson T. 2006. Inter simple sequence repeat (ISSR) analysis of diploid coffee species and cultivated *Coffea arabica* L. from Tanzania. *Gene Res Crop Evo*, 53: 357 - 366.
- Ökmen B, iGva H, Gurbuz N, Ulger M, Anne Frary, Doganlar S. 2011. Quantitative trait loci (QTL) analysis for antioxidant and agronomically important traits in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Turk J Agric*, 35: 501 - 514.
- Pigliucci M, Murren C J, Schlichting C D. 2006. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. *Journal of Experimental Biology*, 209: 2362 - 2367.
- Rao E S, Kadirvel P, Symonds R C. 2012. Using SSR markers to map genetic diversity and population structure of *Solanum pimpinellifolium* for development of a core collection. *Plant Genet Resour*, 10 (1): 38 - 48.
- Shi Jian-lei, Chen Xian-zhi, Huang Zong-an, Wang Yan, Wang Ke-lei, Xu Jian. 2016. Evaluation of genetic diversity of main agronomic traits in South China. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 30 (10): 1914 - 1924. (in Chinese)
- 史建磊, 陈先知, 黄宗安, 王 燕, 王克磊, 徐 坚. 2016. 华南型黄瓜主要农艺性状遗传多样性评价. *核农学报*, 30 (10): 1914 - 1924.
- Sun Yadong, Liang Yan, Wu Jiangmin, Zhang Fei, Yan Jianmin. 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 Shu-wei, Song Feng-jing, Hao Jun-jie, Zhang Xiao-yan, Li Hong-wei, Shao Yang, Zhao Ai-hong. 2017. Genetic diversity of agronomic traits in 271 pea germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 18 (1): 10 - 18. (in Chinese)
- 万述伟, 宋风景, 郝俊杰, 张晓艳, 李红卫, 邵 阳, 赵爱鸿. 2017. 271 份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 18 (1): 10 - 18.
- Wang Lan-fen, Wu Jing, Wang Zhao-li, Yu Li, Wu Xian-zhi, Zhang Shi-long, Wang Shu-min. 2016. Morphological diversity and classification of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Germplasm Resources Journal of Plant Genetic Resources*, 17 (6): 976 - 983. (in Chinese)
- 王兰芬, 武 晶, 王昭礼, 余 莉, 吴宪志, 张世龙, 王述民. 2016. 普通菜豆种质资源表型鉴定及多样性分析. *植物遗传资源学报*, 17 (6): 976 - 983.
- Wang Ri-sheng, Li Yang-rui, Huang Wei-xiong, Yang Li-tao. 2005. Appraisal of tomato germplasms by SSR markers. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 25 (12): 2426 - 2430. (in Chinese)
- 王日升, 李杨瑞, 黄伟雄, 杨丽涛. 2005. 利用 SSR 标记鉴定番茄种质资源. *西北植物学报*, 25 (12): 2426 - 2430.
- Wei Shi-wei, Yang Hua, Zhang Qian-rong, Chen Hai-rong, Luo Li-jun, Long Ping. 2016. The diversity of lettuce resource based on the analysis of phenotypic traits. *Germplasm Resources Journal of Plant Genetic Resources*, 17 (5): 871 - 876. (in Chinese)
- 魏仕伟, 杨 华, 张前荣, 陈海荣, 罗利军, 龙 萍. 2016. 基于表型性状的叶用莴苣资源多样性分析. *植物遗传资源学报*, 17 (5): 871 - 876.
- Yang Sheng-bao, Yang Tao, Li Ning, Tang Ya-ping, Wang Qiang, Patiguli, Wang Bai-ke, Zhang Gui-ren, Yu Qing-hui, Gao Jie. 2015. Principal component and cluster analysis based on fruit traits in ILs of tomato. *Journal of Plant Genetic Resources*, 16 (4): 907 - 913. (in Chinese)
- 杨生保, 杨 涛, 李 宁, 唐亚萍, 王 强, 帕提古丽, 王柏柯, 张贵仁, 余庆辉, 高 杰. 2015. 番茄 ILs 果实性状的主成分分析和聚类分析. *植物遗传资源学报*, 16 (4): 907 - 913.
- Zhang Ying, Cao Yu-fen, Huo Hong-liang, Tian Lu-ming, Dong Xing-guang, Qi Dan, Zhang Xiao-shuang. 2016. Research on diversity of pear germplasm resources based on flowers phenotype traits. *Acta Horticulturae Sinica*, 43 (7): 1245 - 1256. (in Chinese)
- 张 莹, 曹玉芬, 霍洪亮, 田路明, 董星光, 齐 丹, 张小双. 2016. 基于花表型性状的梨种质资源多样性研究. *园艺学报*, 43 (7): 1245 - 1256.