

张逸鸣, 乔岩峰, 刘爱群, 等. 番茄自交系农艺性状的表型分析[J]. 土壤与作物, 2019, 8(3): 331–338.
ZHANG Y M, QIAO Y F, LIU A Q, et al. Analysis of agronomic traits in tomato inbred lines[J]. Soils and Crops, 2019, 8(3): 331–338.

番茄自交系农艺性状的表型分析

张逸鸣¹, 乔岩峰², 刘爱群¹, 张子君¹, 邹庆道¹, 王 涛¹

(1. 辽宁省农业科学院 蔬菜研究所, 辽宁 沈阳 110161; 2. 重庆禾谷珍种业有限公司, 重庆 400000)

摘 要: 为探究番茄自交系种质资源的遗传多样性和亲缘关系, 以 46 份普通番茄自交系为试验材料, 利用遗传变异度分析、遗传相关性分析、主成分分析和聚类分析等技术对其 9 个农艺性状进行了综合统计分析。结果显示: 在 9 个农艺性状中, 单果重的变异系数最大, 达 36.8%, 而果实硬度的变异系数最小, 为 12.6%。遗传相关分析结果表明, 各性状间存在着复杂的相互关系; 综合相关性和通径分析结果, 单株总产量与心室数、果实横径、果实纵径、单果重和坐果率 5 个性状关系最为紧密。主成分分析结果显示株高、坐果率、单株产量和单果重的累计贡献率是 84.4%, 可以涵盖所有研究性状的主要信息。基于表型数据, 在欧氏距离为 0.16 处将供试材料分为 3 个类群, 国外品种主要集中于第一类群第 1、2 亚类和第三类群第 2 亚类, 且分布较为紧凑; 来自中国的 1 份野生番茄单独成为第二类群。研究结果明确了不同自交系材料间的表型特异性, 为利用番茄自交系杂交育种工作理清了思路, 并为加快新品种的选育奠定了基础。

关键词: 番茄; 自交系; 农艺性状

中图分类号: S641.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095–2961(2019)03–331–08

DOI: 10.11689/j.issn.2095–2961.2019.03.014

Analysis of agronomic traits in tomato inbred lines

ZHANG Yiming¹, QIAO Yanfeng², LIU Aiqun¹, ZHANG Zijun¹, ZOU Qingdao¹, WANG Tao¹

(1. Institute of Vegetable Crops, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China;

2. Chongqing Heguzhen Seed Company Limited, Chongqing 400000, China)

Abstract: The genetic diversity and genetic relationship of 9 agronomic traits among 46 tomato inbred lines were comprehensively examined by variation evaluation, genetic correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis. The results showed that the trait of weight per fruit displayed the highest coefficient variation (CV) of 36.8%, while the fruit hardness had the lowest CV of 12.6%. The correlation analysis indicated that complex correlations exist among different traits. The results of correlation and path analysis showed that the total yield per plant was closely related to the number of ventricles, transverse diameter of fruit, longitudinal diameter of fruit, weight per fruit and fruit set rate. Principal component analysis showed that the first four principal components accounted for over 84.4% of genetic diversity, which contained most information of all indicators. The 46 tomato inbred lines were divided into 3 groups at the 0.16 European distance, foreign resources were clustered compactly into 1 sub-group and 2 sub-group of the first group; and only 1 Chinese wild tomato was clustered in the second group. The results clearly defined the phenotypic features of tomato inbred lines, which provided useful information for breeders to accelerate breeding process of new cultivars.

Key words: tomato; inbred lines; agronomic traits

0 引 言

番茄是一种可以当水果吃的蔬菜, 被誉为“蔬菜中的水果”, 因其营养丰富, 味道鲜美, 深受广大消费者喜爱, 在全世界范围内广泛种植。在实际育种中, 应针对不同的育种目标, 根据性状遗传规律, 尽量选择优良性状多, 不良性状少及性状互补的亲本材料进行杂交^[1]。鉴于表型性状的分析具有简单、方便和直观的优点, 是品种资源保护与评价的关键指标^[2], 已成为育种的重要手段。植物表型性状的变异是遗传多样性与环境多样性综合作用的结果, 不仅能在某种程度上反映个体水平的变异, 而且还能反映物种

收稿日期: 2018–12–07; 修回日期: 2019–04–17.

基金项目: 辽宁省农业领域青年科技创新人才培养计划项目 (2015027); 2018 现代农业产业技术体系辽宁创新团队试点项目.

第一作者简介: 张逸鸣 (1982–), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事番茄育种的相关研究. E-mail: christy522@126.com.

通信作者: 刘爱群 (1971–), 男, 硕士, 研究员, 主要从事蔬菜栽培技术研究及推广工作. E-mail: laq2004@sohu.com.

水平的遗传变异程度。目前，在茄子^[3-4]、辣椒^[5-6]及油菜^[7-8]等蔬菜作物均有表型多样性的相关研究工作。近年来，很多学者对番茄种质资源的表型多样性进行了相关研究^[9-12]。番茄自交系作为杂种优势利用的亲本材料，对其进行系统评价具有重要意义。但目前以番茄自交系作为研究对象的较少，且仅对品质有关性状进行了分析^[13]。因此，对番茄自交系表型性状进行研究分析，将有助于把握其表型变异规律，了解其遗传稳定性和选择潜力，对发掘、利用和创新现有自交系材料具有重要指导意义。

本研究以 46 份番茄自交系为对象，对其株高、单果重和产量等农艺性状进行遗传多样性及变异水平分析，旨在深入了解这些自交系材料的表型变异程度及变异规律等遗传多样性信息，为品种创新和种质资源的科学保护提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为辽宁省农业科学院蔬菜研究所番茄课题组（二组）收集整理的 46 份番茄自交系材料，编号依次为 1-46（表 1）。

表 1 自交系材料的来源地情况
Table 1 The origins of inbred lines

编号 Number	来源 Origin	编号 Number	来源 Origin	编号 Number	来源 Origin	编号 Number	来源 Origin
1	中国 China	13	中国 China	25	中国 China	37	中国 China
2	中国 China	14	中国 China	26	中国 China	38	中国 China
3	中国 China	15	中国 China	27	俄罗斯 Russia	39	中国 China
4	中国 China	16	中国 China	28	美国 USA	40	中国 China
5	中国 China	17	中国 China	29	中国 China	41	中国 China
6	中国 China	18	中国 China	30	美国 USA	42	中国 China
7	中国 China	19	中国 China	31	日本 Japan	43	中国 China
8	中国 China	20	中国 China	32	俄罗斯 Russia	44	中国 China
9	中国 China	21	中国 China	33	中国 China	45	中国 China
10	中国 China	22	中国 China	34	中国 China	46	中国 China
11	中国 China	23	中国 China	35	荷兰 Netherland		
12	中国 China	24	中国 China	36	未知 Unknown		

1.2 试验方法

2015 年 7 月 31 日播种于育苗盘中，8 月 10 日倒苗于营养钵中，8 月 24 日定植于辽宁省农业科学院蔬菜研究所西地温室大棚（41°82'86"N，123°55'46"E），株行距 33 cm×55 cm，每个重复定植 9 株，每份材料设置 3 次重复，采取随机区组设计，田间采用常规管理。

1.3 性状调查

定植后 30 d 测量株高，从每个重复中随机选取一株测量。收获期从不同植株上随机选取 3 个大小均匀的成熟果实，对单果重、果实横径、果实纵径、果形指数、心室数、果实硬度及可溶性固形物含量等农艺性状进行测量和记录^[14]。

1.4 数据统计分析

使用 Excel 2007、SPSS 20.0 和 NTSYS2.1 软件，分别对各种表型性状的数据进行遗传变异度分析、主成分分析、遗传相关性分析、通径分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 变异度分析

对各农艺性状的变异度分析结果表明，46 份番茄自交系材料的变异系数范围为 12.6% ~ 36.8%，9 个性状的平均变异系数是 21.8%，其中，单果重的变异系数最大，达到 36.8%，变幅为 2.34 ~ 197g；其次为总产量和心室数的变异系数较大，分别为 33.5% 和 28.6%，变幅分别为 25.0 ~ 983 g（单株第二穗果平均产量）和 2.00 ~ 7.67 个；果实硬度的变异系数最小，仅为 12.6%，在 0.17 ~ 0.66 之间（表 2）。从以上结果可以看出，本研究中的 46 份试验材料之间具有显著的遗传差异，而且各性状在不同材料之间也存在不同程度的多样性。

表 2 各试验材料的农艺性状变异情况
Table 2 Variations of agronomic traits in the tested materials

性状 Traits	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	方差 Variance	标准差 SD	变异系数 CV/%
株高 Plant height/cm	98.1	131	68.8	62.6	225	14.9	15.3
坐果率 Fruit set rate/%	67.9	91.4	34.6	56.8	0.011	0.107	15.7
总产量 Total yeild/g	497	983	25.0	958	0.028	0.166	33.5
单果重 Weight per fruit/g	97.5	197	2.34	194	0.001	0.036	36.8
果实横径 Transverse diameter of fruit/cm	5.18	7.13	0.67	6.46	0.956	0.978	18.9
果实纵径 Longitudinal diameter of fruit/cm	4.67	6.10	0.73	5.37	0.699	0.836	17.9
果实硬度 Fruit hardness/（kg·cm ⁻² ）	0.57	0.66	0.17	0.49	0.005	0.072	12.6
心室数 Number of ventricles	3.96	7.67	2.00	5.67	1.285	1.134	28.6
可溶性固形物 Soluble solids content/%	4.67	7.60	2.90	4.70	0.652	0.808	17.3

2.2 主成分分析

主成分分析是把多个指标简化为少数几个综合指标的一种降维统计方法，能清楚地显示各表型性状在遗传多样性构成中的作用，特征值和贡献率是选择主成分的依据，以特征值大于 1 为提取标准^[15]。对 46 份番茄自交系材料的 9 个农艺性状进行主成分分析，其中前 4 个主成分，即株高、坐果率、总产量和单果重累计贡献率为 84.4%，涵盖了所有指标的绝大部分信息（表 3），表明这 4 个主成分能够代表这 9 个性状所包含的全部遗传信息。

第 1 主成分特征值为 4.40，其贡献率为 48.9%，主要包括果实纵径、果实横径、单果重、果实硬度、总产量和心室数，其特征向量均在 0.70 以上，这些性状与番茄的产量和果实品质有关。第 2 主成分的特征值为 1.226，贡献率为 13.6%，主要由坐果率和可溶性固形物决定，其特征向量分别为 -0.771 和 0.569。第 3 主成分的特征值为 0.988，贡献率为 11.0%，主要是可溶性固形物和心室数决定。第 4 主成分的特征值为 0.980，贡献率为 10.9%，其由株高决定，特征向量为 0.775。依照贡献率特征值的大小，从主成分中选择出果实纵径、果实横径、单果重、果实硬度、总产量和心室数是形成番茄自交系表型差异的关键因素，可作为未来番茄创新育种中进行品种资源评价和亲本筛选的首要性状指标。

表 3 番茄自交系材料 9 个性状的主成分分析

Table 3 Principal component analysis on 9 agronomic traits of tomato inbred lines

性状 Trait	主成分 Principal component			
	1	2	3	4
株高 Plant height/cm	0. 248	0. 314	-0. 466	0. 775
坐果率 Fruit set rate/%	0. 245	-0. 771	0. 368	0. 335
总产量 Total yeild/g	0. 773	-0. 208	0. 090	0. 338
单果重 Weight per fruit/g	0. 854	0. 276	0. 101	-0. 162
果实横径 Transverse diameter of fruit/cm	0. 898	0. 160	-0. 159	-0. 143
果实纵径 Longitudinal diameter of fruit/cm	0. 900	0. 079	0. 023	-0. 126
果实硬度 Fruit hardness/ (kg·cm ⁻²)	0. 817	-0. 128	-0. 174	-0. 194
心室数 Number of ventricles	0. 717	0. 206	0. 494	0. 113
可溶性固形物 Soluble solids content/%	-0. 391	0. 569	0. 563	0. 203
特征值 Eugenvalue	4. 40	1. 226	0. 988	0. 980
贡献率 Contribution/%	48. 9	13. 6	11. 0	10. 9
累计贡献率 Cumulative percentage/%	48. 9	62. 5	73. 5	84. 4

2.3 相关性分析

性状的相关性是指利用一种性状的选择可以达到间接选择另一种性状的效果，进而可以有效提高育种的选择效率和进程^[16]。

对 9 个农艺性状进行相关性分析，结果显示（表 4），大多数性状之间存在显著或极显著相关性，总产量除了与株高不存在相关性以外，与其他 8 个性状均存在相关性，其中，总产量与单果重、果实横径、果实纵径、果实硬度和心室数均表现为极显著正相关关系（ $P<0.01$ ）；另外，坐果率与总产量之间表现为显著正相关关系，可溶性固形物与产量呈显著负相关关系（ $P<0.05$ ）。单果重与果实横径、果实纵径、果实硬度和心室数呈极显著正相关关系（ $P<0.01$ ）。果实横径与果实纵径、果实硬度和心室数呈极显著正相关关系（ $P<0.01$ ）；与可溶性固形物呈显著负相关关系（ $P<0.05$ ）。果实纵径与果实硬度和心室数呈极显著正相关关系。果实硬度与心室数呈极显著正相关关系（ $P<0.01$ ）；与可溶性固形物含量之间表现为极显著负相关关系（ $P<0.01$ ）。其它性状间相关性不显著。

2.4 通径分析

经多元回归分析，得到如下方程式： $Y=0.349+0.458X_2+0.663X_5+0.053X_8$ ，方程的方差 F 值为 16.055，达极显著水平（ $P<0.01$ ）。同时，进行通径分析，揭示各个性状对因变量总产量的相对重要性。从表 5 可以看出，坐果率、果实横径与心室数的直接通径系数分别为 0.292、0.370 和 0.363，这 3 个性状是影响番茄自交系单株产量的主要原因，且均对产量有决定性的正效应。坐果率、果实横径和心室数两两之间均通过间接正效应来影响产量。因此，可通过适当提高坐果率来增加产量。

2.5 聚类分析

基于表型性状对番茄 46 份自交系材料进行聚类分析，分析其亲缘关系远近，结果表明：在遗传距离为 0.16 处可聚为 3 个类群，不同类群番茄材料的表型性状存在一定差异（图 1）。第一类群包括 29 份材料，占聚类材料的 63.0%，可细分为 3 个亚类，第 1 亚类只包括 1 份来自美国的番茄自交系材料；第 2 亚类共 5 份材料，其中包括 2 份国外自交系材料，1 份来自日本（编号 31），1 份来自荷兰（编号 35）；第 3 亚类都是中国的番茄自交系材料。第二类只包括 1 份中国的野生番茄材料（编号 36），仅占聚类材料的 0.02%，此类材料特点主要是果形指数较大，心室数少，可溶性固形物含量高。第三类包含 16 份材料，占聚类材料的 34.8%。可细分为 2 个亚类，第 1 亚类均来自中国番茄自交系；第 2 亚类包含 3 份国外自交系材料，其中 2 份来自俄罗斯（编号 27 和 32），1 份来自美国（编号 30）。这些表型性状差异大，遗传距离远的番茄自交系可以用来作为杂交育种的亲本，可用于制种番茄的品种改良和优良新品种的选育。

表 4 不同农艺性状之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient of different agronomic traits

性状 Trait	相关系数 Correlation Coefficient								
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
X ₁	1								
X ₂	-0.057	1							
X ₃	0.275	0.370 *	1						
X ₄	0.127	-0.016	0.565 * *	1					
X ₅	0.236	0.050	0.567 * *	0.795 * *	1				
X ₆	0.161	0.188	0.566 * *	0.749 * *	0.851 * *	1			
X ₇	0.122	0.209	0.495 * *	0.546 * *	0.760 * *	0.784 * *	1		
X ₈	0.105	0.164	0.597 * *	0.712 * *	0.502 * *	0.563 * *	0.422 * *	1	
X ₉	-0.013	-0.185	-0.351 *	-0.238	-0.306 *	-0.226	-0.396 * *	-0.004	1

注：* 0.05 水平显著相关，* * 0.01 水平极显著相关。下同。X₁：株高；X₂：坐果率；X₃：总产量；X₄：单果重；X₅：果实横径；X₆：果实纵径；X₇：果实硬度；X₈：心室数；X₉：可溶性固形物。

Note: * indicates significant differences at 0.05 level, and * * indicates significant differences at 0.01 level. The same is as below. X₁ Plant height; X₂ Fruit set rate; X₃ Total yeild; X₄ Weight per fruit; X₅ Transverse diameter of fruit; X₆ Longitudinal diameter of fruit; X₇ Fruit hardness; X₈ Number of ventricles; X₉ Soluble solids content.

表 5 番茄自交系农艺性状与单株产量的通径系数

Table 5 Path analysis between total yield per plant and other agronomic traits of tomato inbred lines

因子 Factor	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	坐果率 Fruit set rate	果实横径 Transverse diameter of fruit	心室数 Number of ventricles
坐果率 Fruit set rate	0.370 *	0.292		0.185	0.060
果实横径 Transverse diameter of fruit	0.567 * *	0.370	0.146		0.182
心室数 Number of ventricles	0.597 * *	0.363	0.048	0.186	

3 讨 论

番茄种质资源的遗传多样性是新品种改良与选育的基础^[17-19]，而表型性状的鉴定与描述是研究种质资源的最简单、易行的基本方法，也是检测遗传变异最传统、最直观的方法^[20-23]。本研究的主要目的是为了解决在杂交育种工作中亲本选配的盲目性，对杂种优势利用具有指导意义。通过对 46 份番茄自交系 9 个农艺性状的表型遗传多样性分析，同时采用主成分、相关性和聚类分析方法挖掘它们潜藏的育种价值，这些试验材料的表型性状具有较丰富的遗传变异，性状变异系数为 12.6% ~ 36.8%，其中单果重的变异系数最大，为 36.8%。优质高产是目前番茄育种的一个重要目标，番茄单果重和产量之间有密切关系^[24]，这与研究者^[13,25-26]对番茄单果重等性状遗传多样性的研究结果相似，说明番茄单果重在群体间和群体内均存在丰富变异，表型多样性水平很高，预示着通过现有个体选择来改良从而实现高产是可行的。

本研究发现，总产量、单果重和心室数的变异系数较大，均超过了 25%，说明这些性状的变异最为丰富，育种选择潜力大。株高和果实硬度变异较小，遗传稳定性相对较好。研究还发现，单果重、果实横径、果实纵径、果实硬度及心室数这些果实性状间均具有较高程度的相关性，而株高与其他所有性状间的相关性均不显著，可溶性固形物则与其他所有性状均呈负相关关系，该结论与前人研究结果相同^[27-28]。此外，本研究主成分分析表明，株高、坐果率、总产量和单果重等性状是形成番茄自交系材料间表型差异

的关键因素，这与前人获得的产量因子可用于对番茄品质综合评定的结果一致^[25,29]，因此，这些性状可作为番茄育种亲本材料评价和选择的重要形态指标。本研究通过聚类分析，将 46 份番茄自交系划分为 3 大类，来自国外的品种较紧凑的聚在一起，但其中来自美国的两个材料却分别聚在第一类群和第三类群，可能是由于材料本身遗传差异较大，也可能是数据误差导致。这个结果与周蓉的研究结果相似^[9]。由于本课题组选育的自交系材料在聚类的各类群中均有分布，说明通过多年的引种和育种实践，辽宁省内的番茄资源已较丰富，已改变了以往育种材料来源比较单一的局面。通过聚类能初步明确各供试材料间的差异，在实际育种工作中，根据不同的育种目标，可选择相关表型性状差异大，亲缘关系较远的优异材料进行杂交，避免亲本遗传上的一致性，以达到有的放矢，优势互补，从而提高选育效率。虽然植物表型性状的调查测定操作简单、方便、直观，是物种资源研究最基本的方法和途径^[30]。但是，表型性状是环境与遗传共同作用的结果，表型鉴定易受材料生长发育阶段、环境条件、栽培因素及评价赋值等因素影响，有一定的局限性^[31]，因此，应该以表型性状研究为基础，与分子分析结果相结合^[32]，以提高鉴定和选择的准确性与效率，为番茄育种提供有力的理论依据。

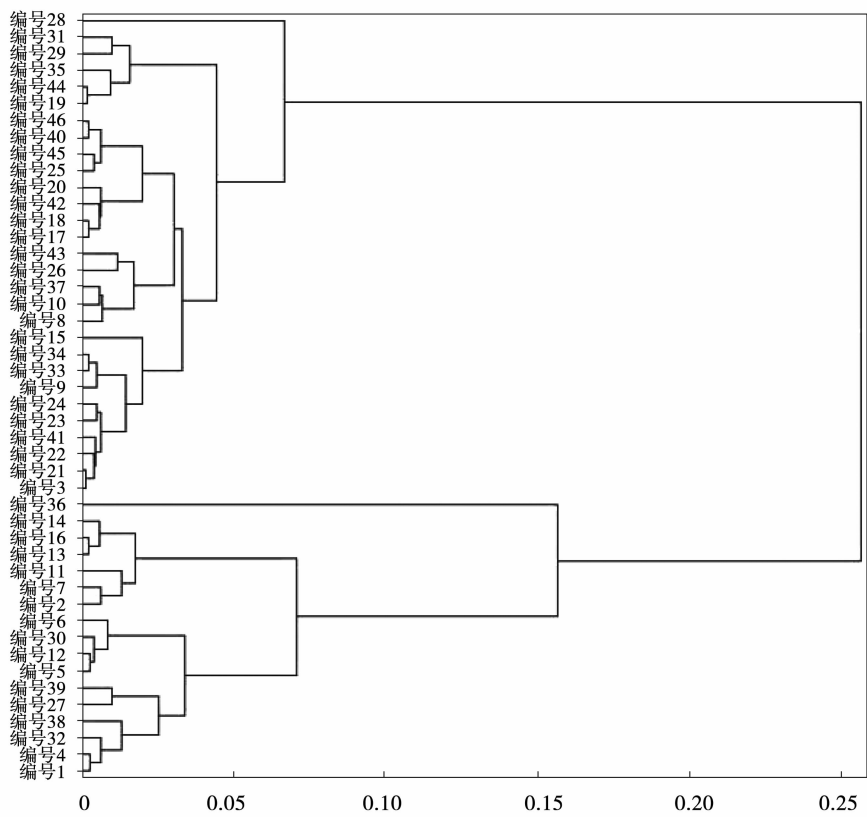


图 1 番茄自交系材料的聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of tomato inbred lines

4 结 语

- (1) 46 份番茄自交系材料的 9 个农艺性状中，单果重的变异系数最大，果实硬度的变异系数最小，分别为 36.8% 和 12.6%。说明这些材料的果实大小变异较为广泛，果实硬度差异不大。
- (2) 相关性分析结果显示单株产量与心室数、果实横径、果实纵径和单果重的相似系数较大，依次为 0.597、0.567、0.566 和 0.565。而通径分析结果为，单株产量与果实横径、心室数和坐果率的直接通径系数较大，分别为 0.370、0.363 和 0.292。综合相关分析和通径分析结果。单株产量与心室数、果实横

径、果实纵径、单果重和坐果率5个性状关系最为密切。

(3) 表型聚类分析结果显示, 在欧氏距离为0.16处, 可将46份自交系材料划分为3大类群。国外品种主要集中于第一类群第1、2亚类和第三类群第2亚类; 中国的1份野生番茄单独成为第二类群, 其他中国的自交系材料零星分布于第一和第三大类群之中。根据这些材料间亲缘关系的远近, 可以为未来杂交育种亲本的选择提供参考。

参考文献 (References):

- [1] 易金鑫, 侯喜林. 茄子耐热性遗传表现 [J]. 园艺学报, 2002, 29 (6): 529–532.
YI J X, HOU X L. Inheritance of high temperature tolerance in eggplant (*Solanum melongena* L.) [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2002, 29 (6): 529–532.
- [2] 刘鑫铭. 葡萄种质表型遗传多样性分析及初级核心种质构建 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2010: 2–3.
LIU X M. Evaluating on phenotype diversity and construction of primary core collection of grape germplasm [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2010: 2–3.
- [3] 乔燕春, 曹翠文, 林鉴荣, 等. 茄子重要性状表型多样性及其在育种研究中的应用 [J]. 热带农业科学, 2015, 35 (3): 31–35.
QIAO Y C, CAO C W, LIN J R, et al. Important traits phenotypic diversities in eggplant and their application in breeding [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2015, 35 (3): 31–35.
- [4] 郭守鹏, 田凤玉, 苏甲, 等. 基于表型性状的茄子遗传多样性分析 [J]. 中国园艺文摘, 2018 (3): 6–10, 133.
GUO S P, TIAN F Y, SU J, et al. Genetic diversity analysis of eggplant based on phenotypic traits [J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2018 (3): 6–10, 133.
- [5] 马蓉丽, 焦彦生, 成妍, 等. 基于表型性状的辣椒资源遗传多样性分析 [J]. 山西农业科学, 2015, 43 (12): 1577–1581.
MA R L, JIAO Y S, CHENG Y, et al. Analysis on genetic diversity of pepper resources based on phenotypic traits [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43 (12): 1577–1581.
- [6] 裴红霞, 王学梅, 高晶霞, 等. 宁夏自育辣椒品种 (系) 表型遗传多样性分析 [J]. 东北农业大学学报, 2018, 49 (10): 26–33.
PEI H X, WANG X M, GAO J X, et al. Phenotypic genetic diversity analysis on pepper cultivars (strains) in Ningxia [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2018, 49 (10): 26–33.
- [7] 陈碧云, 许鲲, 高桂珍, 等. 中国白菜型油菜种质表型多样性分析 [J]. 中国油料作物学报, 2012, 34 (1): 25–32.
CHEN B Y, XU K, GAO G Z, et al. Analysis of phenotypic diversity in Chinese collection of *Brassica rapa* L. [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2012, 34 (1): 25–32.
- [8] 李梦寒, 李昌明, 许进鸿, 等. 西藏白菜型黄籽油菜表型多样性分析 [J]. 中国油料作物学报, 2014, 36 (4): 461–468.
LI M H, LI C M, XU J H, et al. Phenotype diversity of yellow-seed rape lines (*Brassica rapa* L.) from Tibet China [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014, 36 (4): 461–468.
- [9] 周蓉, 蒋芳玲, 梁梅, 等. 基于表型性状的番茄品种评价和遗传多样性分析 [J]. 西北农业学报, 2012, 21 (9): 95–102.
ZHOU R, JIANG F L, LIANG M, et al. Evaluation and genetic diversity of tomato varieties based on phenotypic traits [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2012, 21 (9): 95–102.
- [10] 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.
RUI W J, ZHANG Q N, WANG X M, et al. Analysis of phenotypic diversity in 47 big fruit tomato resources [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017 45 (12): 92–95.
- [11] 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.
RUI W J, WANG X M, ZHANG Q N, et al. Genetic diversity analysis of 353 tomato germplasm resources by phenotypic traits [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45 (3): 561–570.
- [12] 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.
ZHANG Q N, WANG X M, RUI W J, et al. Genetic diversity analysis of tomato germplasm resources based on phenotypic traits and disease resistance markers [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2018, 31 (1): 14–21.
- [13] 王涛. 番茄遗传多样性及几个重要农艺性状的关联分析 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 58–59.
WANG T. Genetic diversity and association analysis of several important agronomic traits in tomato [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016: 58–59.
- [14] 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.
LI X X, DU Y C. Descriptors and data standard for tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.
- [15] 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.
WEI S W, YANG H, ZHANG Q R, et al. The diversity of lettuce resource based on the analysis of phenotypic traits [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17 (5): 871–876.

- [16] 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, 44 (5): 199–202.
LIU Z J, SHEN L B, YANG Y, et al. Genetic diversity and genetic relationship of sweet pepper core germplasm [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44 (5): 199–202.
- [17] 陈明辉, 张志录, 杨雨华, 等. 红豆杉种质资源遗传多样性的目标起始密码子多态性 (SCoT) 分析 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44 (10): 116–119.
CHEN M H, ZHANG Z L, YANG Y H, et al. Target initial codon polymorphism (SCoT) analysis of genetic diversity in *Taxus chinensis* germplasm [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44 (10): 116–119.
- [18] 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.
ZHANG X Q, LIU J H, QI B J, et al. Cluster diversity analysis of the main agronomic traits in oat germplasm [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11 (2): 168–174.
- [19] RAO V R, HODGKIN T. Genetic diversity and conservation and utilization of plant genetic resources [J]. Plant Cell, 2002, 68: 1–19.
- [20] TAGLIOTTI M E, DEPERI S I, BEDOGNI M C, et al. Use of easy measurable phenotypic traits as a complementary approach to evaluate the population structure and diversity in a high heterozygous panel of tetraploid clones and cultivars [J]. BMC Genetics, 2018, 19: 8.
- [21] 李春花, 尹桂芳, 王艳青, 等. 云南苦荞种质资源主要性状的遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17 (6): 993–999, 1007.
LI C H, YIN G F, WANG Y Q, et al. Analysis of genetic diversity of main characters of tartary buckwheat germplasm resources in Yunnan [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17 (6): 993–999, 1007.
- [22] 李 军, 刘凤军. 樱桃番茄种质资源的果实及果穗性状遗传多样性 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (12): 180–183.
LI J, LIU F J. Genetic Diversity of fruit and ear characters in cherry tomato germplasm resources [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2015, 43 (12): 180–183.
- [23] 刘 胤, 陈 涛, 张 静, 等. 中国樱桃地方种质资源表型性状遗传多样性分析 [J]. 园艺学报, 2016, 43 (11): 2119–2132.
LIU Y, CHEN T, ZHANG J, et al. Genetic diversity analysis of chinese cherry landraces (*Prunus pseudocerasus*) based on phenotypic traits [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2016, 43 (11): 2119–2132.
- [24] 王广鹏, 刘庆香, 孔德军. 板栗主要园艺性状与单株产量的通径分析 [J]. 河北农业科学, 2004, 8 (3): 60–62.
WANG G P, LIU Q X, KONG D J. The path analysis of main quantitative characteristics on single plant yield of chestnut [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2004, 8 (3): 60–62.
- [25] 冯晶晶. 醋栗番茄 (*Solanum pimpinellifolium*) 遗传多样性及重要农艺性状全基因组关联分析 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2017: 13–15.
FENG J J. Genetic diversity and genome-wide association study on the key agronomic traits of wild tomato *Solanum pimpinellifolium* [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2017: 13–15.
- [26] 孙亚东. 番茄 (*Solanum lycopersicum* L.) 种质资源主要性状多元统计分析 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017: 15–17.
SUN Y D. The multivariate statistical anlysis on main characters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) germplasm [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017: 15–17.
- [27] 王晓静, 梁 燕, 徐加新, 等. 番茄品质性状的多元统计分析 [J]. 西北农业学报, 2010, 19 (9): 103–108.
WANG X J, LIANG Y, XU J X, et al. Multiple statistics analysis of the quality traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19 (9): 103–108.
- [28] 王 亮, 李 艳, 刘志刚, 等. 新疆加工番茄自交系产量与主要农艺性状关系的研究 [J]. 西南农业学报, 2014, 27 (6): 2517–2523.
WANG L, LI Y, LIU Z G, et al. Study on correlations between yield of processing tomato inbred lines and major characters in Xinjiang [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27 (6): 2517–2523.
- [29] 韩泽群, 姜 波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究 [J]. 中国农业科学, 2014, 47 (2): 357–365.
HAN Z Q, JIANG B. A study on comprehensive evaluation of the processing tomato varieties multiple traits [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47 (2): 357–365.
- [30] MAZZUCATO A, PAPA R, BITOCCHI E, et al. Genetic diversity, structure and marker-trait associations in a collection of Italian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) landraces [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2008, 116: 657–669.
- [31] 万述伟, 宋风景, 郝俊杰, 等. 271 份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18 (1): 10–18.
WAN S W, SONG F J, HAO J J, et al. Genetic diversity of agronomic traits in 271 pea germplasm resources [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18 (1): 10–18.
- [32] 傅巧娟, 李春楠, 陈 一, 等. 基于表型性状的孔雀草种质遗传多样性分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16 (5): 1117–1122.
FU Q J, LI C N, CHEN Y, et al. Genetic diversity analysis of tagetes patula germplasm based on phenotypic traits [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2015, 16 (5): 1117–1122.