

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2024.0662

40份辣椒种质资源表型性状的遗传多样性分析

王童童¹, 郭志伟¹, 任广乾¹, 孙强¹, 刘贺娟¹, 张蓓¹, 程相杰¹,
靳正雅², 任福森¹, 甄俊琦¹, 吴涛¹, 李仪³

(1. 新乡市农业科学院 河南新乡 453003; 2. 嵩县农业技术推广服务中心 河南嵩县 471400;
3. 梅西大学 新西兰北帕默斯顿 4410)

摘要: 为了加强对收集到的辣椒种质资源的利用, 提高育种效率, 对40份稳定自交系的21个表型性状进行遗传多样性分析、聚类分析、相关性分析和主成分分析。结果表明, 21个表型性状的多样性指数变化范围为0.464~1.997, 其中多样性指数最高的为株幅, 数量性状中单果质量变异系数最大(52.92%), 说明40份辣椒种质的表型性状具有丰富的遗传多样性。聚类分析结果表明, 在遗传距离20处可以将40份辣椒资源聚为2个类群, 第II类群多为紧凑型植株, 果实细长且皮薄, 果形指数相对较大, 可以为后续不同果形和株型的育种实践提供材料基础。相关性分析结果表明, 各性状之间相关系数达到显著或极显著的性状有74对, 表明大部分表型性状之间相互影响。主成分分析结果显示, 前6个主成分累计贡献率高达77.493%, 可反映表型性状的基本特征, 表型性状中果横径、果形指数、果实横切面形状等12个表型性状能够作为评价辣椒表型遗传多样性和辣椒品种遗传改良的重要指标。研究结果为辣椒种质资源的利用、创新以及品种选育提供了重要的理论参考依据。

关键词: 辣椒; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)08-067-10

Genetic diversity analysis of phenotypic traits in 40 *Capsicum annuum* L. germplasm resources

WANG Tongtong¹, GUO Zhiwei¹, REN Guangqian¹, SUN Qiang¹, LIU Hejuan¹, ZHANG Bei¹, CHENG Xiangjie¹, JIN Zhengya², REN Fusen¹, ZHEN Junqi¹, WU Tao¹, LI Yi³

(1. Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453003, Henan, China; 2. Songxian Agricultural Technology Extension and Service Center, Songxian 471400, Henan, China; 3. Massey University, North Palmerston 4410, New Zealand)

Abstract: To enhance the utilization of the collected *Capsicum annuum* L. germplasm resources and improve breeding efficiency, genetic diversity analysis, cluster analysis, correlation analysis, and principal component analysis were carried out in this study with 23 phenotypic traits of 40 stable inbred lines. The results showed that the diversity indices of the 23 phenotypic traits varied from 0 to 1.997, of which the highest diversity index was plant width, and the coefficient of variation of single fruit mass was the largest among the quantitative traits (52.92%), which indicated that the phenotypic traits of the 40 *C. annuum* L. germplasm resources had rich genetic diversity. The results of cluster analysis showed that the 40 *C. annuum* L. germplasm resources could cluster into two taxa at genetic distance 20, and the germplasm resources of taxon II were mostly compact plants, with elongated and thin-skinned fruits and relatively large fruit shape index, which could provide the theoretical basis for the breeding practice of the subsequent different fruit shapes and plant shapes. The results of correlation analysis showed that the correlation coefficients of 74 pairs of traits were significant or extremely significant, indicating that most of the phenotypic traits interacted with each other. The results of the principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first six principal components was as high as 77.493%, which could reflect the basic characteristics of the phenotypic traits, the twelve phenotypic traits as fruit transverse diameter, fruit shape index, and fruit cross-section shape could be used as important indexes for evaluating the genetic diversity of *C. annuum* L.'s phenotypes and genetic improvement of *C. annuum* L. variety. This study provides an important theoretical reference basis for the utilization and innovation of *C. annuum* L. germplasm resources and variety selection.

Key words: *Capsicum annuum* L.; Germplasm resource; Phenotypic trait; Genetic diversity

收稿日期: 2024-10-25; 修回日期: 2025-03-19

基金项目: 河南省重点研发专项(251111111100); 河南省科技攻关项目(232102110260)

作者简介: 王童童, 女, 研究实习员, 主要从事蔬菜育种与栽培等研究工作。E-mail: 15539116012@163.com

通信作者: 任福森, 男, 研究员, 主要从事蔬菜育种与栽培等研究工作。E-mail: renfusen@126.com

辣椒(*Capsicum annuum* L.)原产于中南美洲热带及亚热带地区,现已遍布世界多个国家,大约在16世纪后期传入中国,在中国经过了400多年的发展,已成为中国餐桌上重要的蔬菜之一。辣椒对光周期不敏感,种植范围广;种类繁多,从植物学上可分为毛辣椒、长柄辣椒、木本辣椒、一年生辣椒等,其中一年生辣椒又可分为长椒、灯笼椒、圆锥椒、簇生椒;加工方式多样,可以做干制椒、辣椒粉、油辣椒、剁辣椒、辣椒酱、泡辣椒等;消费功能多,除菜用、调味、加工功能外,还具有药用、饲用、观赏等功能。作为中国“菜篮子”的主要蔬菜作物之一,其产业大、效益好、发展广。据统计,21世纪以来,辣椒已成为中国种植面积最大的蔬菜^[1-3]。

辣椒种质资源的收集与利用能够为辣椒的品种选育提供大量研究素材,为后续辣椒育种工作打下坚实基础,遗传多样性是物种在演化的过程中不断积累的结果,对所收集到的种质资源遗传多样性进行分析能够很好地展现出群体间的遗传差异,是种质资源研究的主要内容之一。随着生物技术的不断发展,分析遗传多样性的方法越来越多,目前有形态标记、生理标记、细胞标记、分子标记等^[3]。

通过表型性状指标对植物遗传多样性进行研究快速、直观,已在马铃薯、谷子、棉花、枣、燕麦、番

茄、苹果等多种物种中广泛应用^[4-10]。截至目前,关于辣椒种质资源表型性状遗传多样性的研究已有较多报道,刘林娅等^[11]对81份辣椒种质资源的20个表型性状进行了遗传多样性分析,为更好地利用这些种质资源提供了重要参考。吴迪等^[12]对275份辣椒的18个表型性状进行了遗传多样性分析,表明这些材料具有丰富的多样性,具有较好的遗传改良基础。朱珍花等^[13]对32份干制辣椒进行了遗传多样性分析,为干制辣椒种质资源创新和育种提供了良好的理论依据。笔者以收集到的40份稳定自交系种质作为原始种质资源库,调查21个表型性状并进行遗传多样性分析,以期为加强辣椒种质资源利用、提高育种效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为新乡市农业科学院蔬菜研究所收集的40份辣椒种质,各种质来源于多个地区,其中河南新乡5份,天津2份,河南郑州6份,甘肃19份,河南洛阳、山东、内蒙古赤峰各1份,美国3份,云南2份(表1)。各种质材料分别于2022年12月在新北市农业科学院研发基地的温室中使用50孔穴盘进行育苗,2023年3—7月以完全随机排列的

表1 种质资源编号及来源

Table 1 Number and origin of germplasm resources

编号 Number	名称 Name	来源 Origin	编号 Number	名称 Name	来源 Origin
1	ZF	中国河南新乡 Xinxiang, Henan, China	21	23-57	中国甘肃 Gansu, China
2	23-1	中国天津 Tianjin, China	22	23-59	中国甘肃 Gansu, China
3	23-3	中国河南新乡 Xinxiang, Henan, China	23	23-61	中国甘肃 Gansu, China
4	23-5	中国河南新乡 Xinxiang, Henan, China	24	23-81	中国甘肃 Gansu, China
5	23-6	中国河南新乡 Xinxiang, Henan, China	25	23-84	中国甘肃 Gansu, China
6	23-7	中国甘肃 Gansu, China	26	23-85	中国甘肃 Gansu, China
7	23-8	中国河南郑州 Zhengzhou, Henan, China	27	23-91	中国云南 Yunnan, China
8	23-32	中国河南新乡 Xinxiang, Henan, China	28	23-92	中国云南 Yunnan, China
9	23-33	中国河南郑州 Zhengzhou, Henan, China	29	23-93	中国河南郑州 Zhengzhou, Henan, China
10	23-34	中国河南洛阳 Luoyang, Henan, China	30	23-232	中国甘肃 Gansu, China
11	23-35	中国河南郑州 Zhengzhou, Henan, China	31	23-234	中国甘肃 Gansu, China
12	23-36	中国河南郑州 Zhengzhou, Henan, China	32	23-235	中国甘肃 Gansu, China
13	23-42	中国河南郑州 Zhengzhou, Henan, China	33	23-237	中国甘肃 Gansu, China
14	23-43	美国 America	34	23-240	中国甘肃 Gansu, China
15	23-44	中国甘肃 Gansu, China	35	23-241	中国甘肃 Gansu, China
16	23-45	中国天津 Tianjin, China	36	23-244	中国甘肃 Gansu, China
17	23-49	中国山东 Shandong, China	37	23-248	中国甘肃 Gansu, China
18	23-50	中国内蒙古赤峰 Chifeng, Inner Mongolia, China	38	23-251	中国甘肃 Gansu, China
19	23-53	美国 America	39	23-253	中国甘肃 Gansu, China
20	23-55	美国 America	40	23-254	中国甘肃 Gansu, China

方式种植在新乡市农业科学院研发基地的温室大棚中,采用地膜覆盖加膜下滴灌栽培模式,病虫害防治、肥水等田间管理基本一致,株行距为40 cm×60 cm,小区面积5.4 m²,每小区22株,3次重复。

1.2 测定项目和方法

依据《辣椒种质资源描述规范和数据标准》^[14]提供的辣椒表型性状描述及赋值标准对21项表型性状进行观察和测量。各性状赋值标准见表1,其中株高、株幅、果纵径、果横径、肉厚、心室数、单果质量、叶柄长、叶片长、叶片宽等10个数量性状直接采用钢尺、游标卡尺以及电子秤实测数值,果形指数=果纵径/果横径,叶形指数=叶片长/叶片宽。每份种质材料随机取样10株,果实取发育正常的对椒,叶片于四门斗始花期取植株中部完整且生长正常的最大叶片。

1.3 数据分析

采用Excel 2010处理分析数据,得出数量性状的基本统计量(最小值、最大值、平均值、标准差和

变异系数)和质量性状的分布频率。遗传多样性指数 H (Shannon-wiener index)计算公式: $H = -\sum P_j \times \ln P_j$,式中 P_j 为第 j 等级中种质数占总种质数的比例。数量性状参照胡建斌等^[15]的方法,根据数据的平均值(\bar{X})和标准差(SD)将数据分为10个等级,第 i 性状的第1级 $X_i < (\bar{X} - 2SD)$,第10级 $X_i > (\bar{X} + 2SD)$,每一级相差 $0.5SD$,每一级的相对频率用于计算多样性指数。采用SPSS 22.0进行聚类分析、相关性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 辣椒种质资源质量性状多样性分析

统计9个质量性状的频率分布并计算各个性状多样性指数,结果如表2所示。遗传多样性指数变化范围为0.464~1.180,其中果实横切面形状的多样性指数最高,其次是分枝性(1.067),其他质量性状的多样性指数均小于1。花药颜色中蓝和紫占比相近,分别为52.5%和45.0%,占比最小的浅蓝色仅

表2 质量性状频率分布和多样性指数
Table 2 Distribution frequency and Shannon-wiener index of quality trait

质量性状 Quality trait	分布频率 Distribution frequency/%						多样性指数(H) Shannon-wiener index
	1	2	3	4	5	6	
株型 Plant type	开展 Unfolding (0)	半直立 Semi-erect (82.5)	直立 Erect (17.5)				0.464
分枝性 Branching ability	强 Sturdy (25.0)	中 Medium (30.0)	弱 Feeble (45.0)				1.067
叶形 Leaf shape	卵圆形 Oval (0)	长卵圆形 Long ovoid (77.5)	披针形 Lanceolate (22.5)				0.533
叶面特征 Leaf features	平滑 Slick (0)	微皱 Slightly wrinkled (82.5)	皱 Wrinkled (17.5)				0.464
花药颜色 Anther color	白 White (0)	浅黄 Light yellow (0)	黄 Yellow (0)	浅蓝 Light blue (2.5)	蓝 Blue (52.5)	紫 Purple (45.0)	0.790
花柱长度 Style length	短于雄蕊 Shorter than stamens (25.0)	与雄蕊近等长 Subequal to stamens (65.0)	长于雄蕊 Longer than the stamen (10.0)				0.857
花梗着生状态 Pedicel attachment state	下垂 Sagging (17.5)	侧生 Lateral (15.0)	直立 Upright (67.5)				0.855
茎茸毛 Stem luff	无 None (70.0)	稀 Thin (10.0)	中 Medium (15.0)	密 Encrypted (5.0)			0.914
果实横切面形状 Transect shape of fruit	近圆形 Subrounded (20.0)	近三角形 Subtriangle (27.5)	近四边形 Subquadrilateral (47.5)	不规则形状 Irregular shape (5.0)			1.180

注:括号中数据表示分布频率(%)。

Note: Data in the parentheses indicate the frequency of distribution (%).

2.5%;株型有半直立(82.5%)和直立(17.5%)两种;叶形有长卵圆形(77.5%)和披针形(22.5%)两种;叶面特征为微皱(82.5%)或皱(17.5%);分枝性以弱为主(45.0%);花柱长度多为雄蕊近等长,占65.0%;花梗着生状态以直立为主,占67.5%,而下垂和侧生均在15.0%左右;茎大多表现为无茸毛,占70.0%;果实横切面形状主要为近四边形(47.5%)。

2.2 辣椒种质资源数量性状多样性分析

对辣椒种质资源的12个数量性状进行田间调查和统计,由表3可知,各数量性状的多样性指数均>1,说明这些性状的指数是合格的,变幅为1.404~1.997,说明这些性状的表型多样性较为丰富,其中株幅的多样性指数最高,其次为果横径(1.973)和肉厚(1.948)。变异系数最大的是单果质量(52.92%),变异范围为9.53~154.11 g,其次是果形指数(47.77%)、肉厚(37.74%)、果横径(33.63%)和果纵径(30.12%),其他数量性状的变异系数介于17.01%~26.70%,其中株幅的变异系数最小,说明供试材料在此性状上表现出稳定的遗传。

2.3 辣椒种质资源表型性状聚类分析

使用SPSS 22.0软件对辣椒种质资源的21个表型性状进行聚类分析,如图1所示,在遗传距离20处可以将辣椒种质分为I和II 2个类群,在遗传距离15处可以将类群II再分为2个子类群II-1和II-2,各类群的主要表型性状如表4所示。

类群I包含8份种质,类群II包含32份种质。2个类群相比,类群I的果横径与叶柄长极显著大于类群II,且类群I的株幅、肉厚、叶片长、叶片宽均显著大于类群II,而类群II的果形指数显著大于类群I。总体来看,类群I的主要特征是叶柄较长,叶片较大,

植株较高且伸展幅度较大,果实较粗且厚,果形指数较小;类群II果实偏细长且果皮略薄,果形指数较大,叶片较窄小且叶柄较短,植株较矮且紧凑。

在类群II的2个子类群中,类群II-1包含10份种质,类群II-2包含22份种质。类群II-2株高和类群II-1相差无几,株幅极显著大于类群II-1,且果实横径、肉厚、心室数、单果质量均极显著大于类群II-1,果纵径较类群II-1大且差异达到显著水平,除叶片长、叶片宽、果形指数、叶形指数小于类群II-1外,其余性状均大于类群II-1,但差异不显著。总体来看,类群II-1的主要特征为植株较为紧凑,果实偏小,心室数偏少但果形指数较大,叶片较大且叶形指数较大但叶柄长稍短;类群II-2植株伸展幅度较大,果实整体较大且肉厚,但果形指数小,叶片略小但叶柄长。

2.4 辣椒种质表型性状相关性分析

对辣椒种质资源的表型性状进行相关性分析,结果(表5)显示,各性状之间相互联系,辣椒种质资源各表型性状间有74对性状存在显著或极显著相关性。其中株型与株高呈极显著正相关(0.542);分枝性与株高和果形指数呈极显著正相关,与果实横切面形状、果横径、肉厚、心室数、单果质量呈极显著负相关;叶面特征与花梗着生状态、叶柄长、叶片长、叶片宽呈极显著正相关,相关系数分别为0.552、0.561、0.560、0.596;花梗着生状态与果实横切面形状、叶片长、叶片宽呈极显著正相关,与果纵径呈极显著负相关;果实横切面形状与果横径、肉厚、心室数、单果质量呈极显著正相关,相关系数分别为0.645、0.473、0.768、0.450,与果形指数呈极显著负相关(-0.545);株幅与果纵径、单果质量呈极显著正相关,相关系数分别为0.519、0.468;果纵径与

表3 数量性状多样性统计

Table 3 Diversity statistics of quantitative traits

性状 Trait	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	变异系数 CV/%	多样性指数 Shannon-wiener index(H)
株高 Plant height/cm	79.00	19.17	118.00	52.20	65.80	24.27	1.913
株幅 Plant span/cm	67.75	11.52	94.70	47.12	47.58	17.01	1.997
果纵径 Pepper vertical diameter/cm	21.75	6.55	31.40	9.68	21.72	30.12	1.882
果横径 Pepper transverse diameter/cm	4.62	1.55	8.07	1.75	6.32	33.63	1.973
肉厚 Pulp thickness/cm	0.31	0.12	0.61	0.06	0.55	37.74	1.948
心室数 Number of ventricular	2.98	0.72	4.30	2.00	2.30	24.22	1.876
单果质量 Single pepper mass/g	75.59	40.00	154.11	9.53	144.58	52.92	1.947
叶柄长 Petiole length/cm	12.36	3.30	23.79	7.22	16.57	26.70	1.875
叶片长 Leaf length/cm	16.35	4.25	24.57	8.90	15.67	26.00	1.860
叶片宽 Leaf width/cm	7.80	1.95	12.59	4.00	8.59	25.01	1.947
果形指数 Fruit shape index	5.50	2.63	14.18	1.29	12.89	47.77	1.772
叶形指数 Leaf shape index	2.17	0.51	4.84	1.60	3.24	23.57	1.404

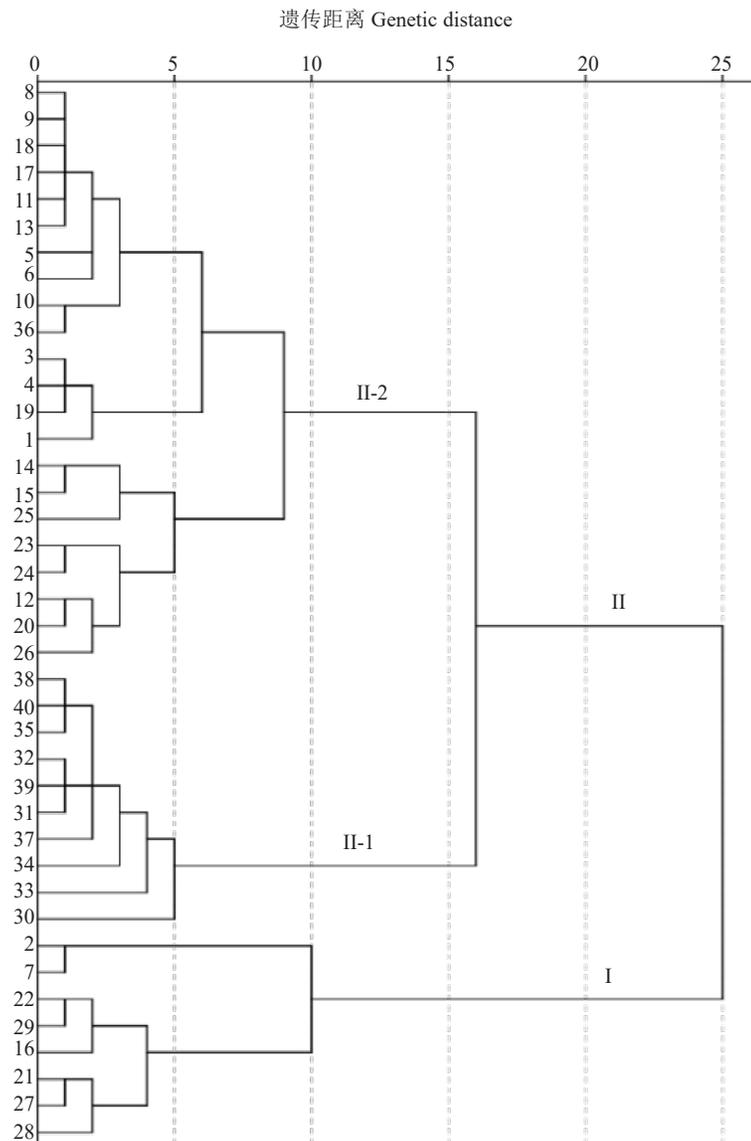


图1 40份辣椒种质资源表型性状聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of phenotypic characters of 40 *C. annuum* L. germplasm resources

果形指数呈极显著正相关;果横径与肉厚、心室数、单果质量、叶柄长呈极显著正相关,相关系数分别为0.762、0.662、0.791、0.470,与果形指数呈极显著负相关,相关系数为-0.837;肉厚与心室数、单果质量、叶柄长呈极显著正相关,相关系数分别为0.596、0.766、0.463,与果形指数呈极显著负相关(-0.638);心室数与单果质量呈极显著正相关(0.517),与果形指数呈极显著负相关(-0.561);单果质量与叶柄长呈极显著正相关(0.428),与果形指数呈极显著负相关(-0.472);叶柄长与叶片长、叶片宽呈极显著正相关,与果形指数呈显著负相关;叶片长与叶片宽呈极显著正相关。综上所述,辣椒种质资源的大部分表型性状之间相互影响,通过合理组配调控株高、叶片等性状可增加单产。

2.5 辣椒表型性状主成分分析

对40份辣椒种质资源表型性状进行主成分分析(表6),提取特征值大于1.0的前6个主成分,累计贡献率达77.493%,前6个主成分代表了辣椒表型性状的主要信息量,说明这6个主成分可以反映辣椒种质表型性状的基本特征。其中,第1主成分的特征值为6.425,贡献率为30.597%,特征向量绝对值较高的有果横径、果形指数和果实横切面形状,主要反映果实形状;第2主成分的特征值为3.348,贡献率为15.941%,特征向量绝对值较高的有株高、株型和叶片宽,主要反映株型和叶片形状;第3主成分的特征值和贡献率分别为2.513和11.966%,株幅、单果质量、花梗着生状态的特征向量绝对值较高;第4主成分的特征值为1.646,贡献

表4 种质各类群表型性状
Table 4 Phenotypic traits of different germplasm groups

性状 Trait	指标 Parameter	种质群 Germplasm group			
		I	II	II-1	II-2
株高 Plant height	平均 Mean/cm	90.16	76.20	76.18	76.22
	变异系数 CV/%	25.86	22.71	16.65	25.34
株幅 Plant span	平均 Mean/cm	75.08*	65.91	57.04	69.95▲▲
	变异系数 CV/%	12.71	17.24	13.85	14.94
果纵径 Pepper vertical diameter	平均 Mean/cm	24.17	21.15	19.19	22.04▲
	变异系数 CV/%	30.03	29.99	16.84	32.80
果横径 Pepper transverse diameter	平均 Mean/cm	6.16**	4.23	3.11	4.74▲▲
	变异系数 CV/%	18.85	33.11	22.76	28.36
肉厚 Pulp thickness	平均 Mean/cm	0.39*	0.29	0.17	0.35▲▲
	变异系数 CV/%	24.91	39.36	38.13	23.98
心室数 Number of ventricular	平均 Mean	3.33	2.89	2.36	3.13▲▲
	变异系数 CV/%	18.71	25.11	16.83	22.88
单果质量 Single pepper mass	平均 Mean/g	132.67	61.32	23.41	78.55▲▲
	变异系数 CV/%	11.24	49.25	38.40	22.65
叶柄长 Petiole length	平均 Mean/cm	14.39**	11.85	11.23	12.14
	变异系数 CV/%	12.38	28.80	17.66	32.17
叶片长 Leaf length	平均 Mean/cm	18.56*	15.80	16.85	15.32
	变异系数 CV/%	13.59	28.12	26.14	29.22
叶片宽 Leaf width	平均 Mean/cm	8.93*	7.52	7.58	7.49
	变异系数 CV/%	18.21	25.86	19.93	28.63
果形指数 Fruit shape index	平均 Mean	4.24	5.81*	7.03	5.26
	变异系数 CV/%	39.47	47.23	43.68	46.85
叶形指数 Leaf shape index	平均 Mean	2.44	2.11	2.22	2.06
	变异系数 CV/%	40.27	14.21	19.18	10.33

注:*和**分别表示类群I和类群II在 0.05 和 0.01 水平差异显著;▲和▲▲分别表示类群II-1 和类群II-2 在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

Note: * and ** indicate significant difference between group I and group II at 0.05 and 0.01 level, respectively; ▲ and ▲▲ indicate significant difference between group II-1 and group II-2 at 0.05 and 0.01 level, respectively.

率为 7.840%，主要反映茎茸毛；第 5、6 主成分的特征值分别为 1.263 和 1.078，贡献率分别为 6.014% 和 5.134%，特征向量绝对值较高的分别为花柱长度和叶形指数。从特征值和贡献率来看，果横径、果形指数、果实横切面形状、单果质量、株高、株型、株幅、叶片宽、叶形指数、茎茸毛、花梗着生状态和花柱长度共 12 个表型性状是引起辣椒种质表型差异的主要因素，可以为辣椒种质资源的利用、创新与评价提供一定的参考依据。

3 讨论与结论

种质资源是作物遗传改良和相关基础研究的物质基础^[6]。根据作物主要农艺性状中的数量性状和质量性状进行遗传多样性分析，能够为后续品种改良提供良好的理论基础。因此笔者对从不同地

区引进的 40 份辣椒种质资源的 21 个表型性状进行多样性分析，发现辣椒种质资源表型性状类型丰富，质量性状中多样性指数较高的为果实横切面形状(1.180)和分枝性(1.067)；数量性状中多样性指数最高的是株幅(1.997)，果横径(1.973)和肉厚(1.948)次之，变异系数最大的是单果质量(52.92%)，其次是果形指数(47.77%)、肉厚(37.74%)、果横径(33.63%)和果纵径(30.12%)，与质量性状相比，数量性状多样性指数更高，变异更大，遗传资源更丰富，这与李宁等^[17]、赵红等^[18]的研究结果一致。

根据聚类分析结果可以将 40 份辣椒种质资源划分为 2 个类群，类群 I 的主要特征是叶柄较长，叶片较大，植株较高且伸展幅度较大，果实较粗且肉厚，果形指数较小；类群 II 包含 32 份材料，占供试种质材料总数的 80%，该类群果实偏细长且果皮

表5 表型性状相关性分析
Table 5 Correlation analysis of phenotypic traits

性状 Trait	株型 Plant type	分枝性 Branching ability	叶形 Leaf shape	叶面特征 Leaf features	花药颜色 Anther color	花柱长度 Style length	花梗着生状态 Pedicel attachment state	茎茸毛 Stem luff	果实横切面形状 Fruit shape	株高 Plant height	株幅 Plant span	果纵径 Pepper vertical diameter	肉厚 Pulp thickness	心室数 Number of ventricular	单果质量 Single pepper mass	叶柄长 Petiole length	叶片长 Leaf length	叶片宽 Leaf width	果形指数 Fruit shape index	叶形指数 Leaf shape index
株型	1																			
Plant type																				
分枝性	0.211	1																		
Branching ability																				
叶形	-0.248	0.236	1																	
Leaf shape																				
叶面特征	0.212	-0.130	-0.697**	1																
Leaf features																				
花药颜色	0.124	0.204	0.240	-0.246	1															
Anther coloration																				
花柱长度	0.006	0.118	0.037	-0.006	0.205	1														
Style length																				
花梗着生状态	-0.042	-0.119	-0.271	0.552**	-0.208	0.056	1													
Pedicel attachment state																				
茎茸毛	0.011	-0.147	0.393*	-0.011	0.183	0.109	0.070	1												
Stem luff																				
果实横切面形状	0.016	-0.690**	-0.355*	0.342*	-0.202	-0.193	0.404**	0.232	1											
Fruit shape																				
株高	0.542**	0.412**	-0.242	0.153	0.147	-0.048	0.023	-0.091	-0.039	1										
Plant height																				
株幅	0.221	0.102	-0.074	-0.062	0.216	0.030	-0.291	-0.064	-0.042	0.681**	1									
Plant span																				
果纵径	0.138	0.340*	0.045	-0.180	0.336*	-0.223	-0.513**	-0.026	-0.336*	0.439**	0.519**	1								
Pepper vertical diameter																				

表 5 (续)
Table 5 (Continued)

性状 Trait	株型 Plant type	分枝性 Branching ability	叶形 Leaf shape	叶面特征 Leaf features	花药颜色 Anther color	花柱长度 Style length	花梗着生状态 Pedicel attachment state	茎茸毛 Stem luff	果实横切面形状 Transsect shape of fruit	株高 Plant height	株幅 Plant span	果纵径 Pepper vertical diameter	果横径 Pepper transverse diameter	肉厚 Pulp thickness	心室数 Number of ventricular	单果质量 Single pepper mass	叶柄长 Petiole length	叶片长 Leaf length	叶片宽 Leaf width	果形指数 Fruit shape index	叶形指数 Leaf shape index
果横径 Pepper transverse diameter	-0.074	-0.666**	-0.384*	0.313*	-0.360*	0.051	0.304	0.020	0.645**	-0.105	0.121	-0.409**	1								
肉厚 Pulp thickness	0.044	-0.456**	-0.357*	0.245	-0.277	0.063	0.071	0.069	0.473**	0.016	0.317*	-0.160	0.762**	1							
心室数 Number of ventricular	-0.094	-0.605**	-0.334*	0.225	-0.317*	0.028	0.245	0.091	0.768**	0.010	0.172	-0.311	0.662**	1							
单果质量 Single pepper mass	-0.004	-0.489**	-0.379*	0.237	-0.195	-0.115	0.025	-0.021	0.450**	0.179	0.468**	0.161	0.791**	0.517**	1						
叶柄长 Petiole length	0.23	-0.153	-0.487**	0.561**	-0.184	0.047	0.366*	-0.049	0.293	0.231	0.175	-0.214	0.470**	0.349*	0.428**	1					
叶片长 Leaf length	0.387*	0.054	-0.339*	0.560**	-0.151	-0.015	0.554**	0.141	0.385*	0.405**	0.052	-0.177	0.229	0.237	0.135	0.595**	1				
叶片宽 Leaf width	0.345*	0.080	-0.519**	0.596**	-0.219	-0.064	0.504**	-0.133	0.354*	0.470**	0.177	-0.148	0.300	0.248	0.239	0.626**	0.858**	1			
果形指数 Fruit shape index	0.042	0.438**	0.185	-0.233	0.308	-0.179	-0.394*	-0.087	-0.545**	0.120	-0.005	0.645**	-0.837**	-0.638**	-0.472**	-0.422**	-0.378*	-0.390*	1		
叶形指数 Leaf shape index	0.037	-0.174	0.139	0.015	-0.048	0.039	0.135	0.221	0.056	-0.138	-0.166	-0.229	0.231	0.051	0.172	0.112	0.169	-0.158	-0.224	1	

注: *表示在 0.05 水平显著相关; **表示在 0.01 水平极显著相关。

Note: * represent significant correlation at 0.05 level; ** represent extremely significant correlation at 0.01 level.

表6 表型性状主成分分析
Table 6 Principal component analysis of phenotypic traits

性状 Trait	主成分 Principal component					
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
株型 Plant type	0.108	0.620	-0.049	0.247	0.071	-0.157
分枝性 Branching ability	-0.561	0.570	-0.260	0.084	-0.254	-0.054
叶形 Leaf shape	-0.593	-0.363	0.038	0.477	0.084	0.007
叶面特征 Leaf features	0.610	0.336	-0.370	-0.173	0.070	-0.036
花药颜色 Anther color	-0.414	0.194	0.158	0.456	0.027	0.282
花柱长度 Style length	-0.006	-0.063	-0.111	0.428	-0.726	0.292
花梗着生状态 Pedicel attachment state	0.533	0.016	-0.624	0.060	0.070	0.114
茎茸毛 Stem luff	0.030	-0.217	-0.022	0.715	0.425	0.162
果实横切面形状 Transect shape of fruit	0.758	-0.214	0.059	0.031	0.438	0.273
株高 Plant height	0.091	0.855	0.207	0.166	0.042	0.036
株幅 Plant span	0.101	0.531	0.702	0.180	-0.123	0.087
果纵径 Pepper vertical diameter	-0.436	0.514	0.552	-0.066	0.256	-0.060
果横径 Pepper transverse diameter	0.862	-0.290	0.262	0.033	-0.141	-0.105
肉厚 Pulp thickness	0.727	-0.099	0.456	0.056	-0.190	-0.045
心室数 Number of ventricular	0.744	-0.206	0.252	-0.025	0.091	0.344
单果质量 Single pepper mass	0.667	0.023	0.630	-0.008	-0.005	-0.232
叶柄长 Petiole length	0.691	0.331	-0.107	0.059	-0.159	-0.158
叶片长 Leaf length	0.591	0.489	-0.424	0.266	0.166	-0.036
叶片宽 Leaf width	0.640	0.585	-0.300	-0.044	0.015	0.125
果形指数 Fruit shape index	-0.780	0.290	0.025	-0.225	0.270	-0.004
叶形指数 Leaf shape index	0.151	-0.262	-0.121	0.468	0.060	-0.728
特征值 Eigenvalue	6.425	3.348	2.513	1.646	1.263	1.078
贡献率 Contribution rate/%	30.597	15.941	11.966	7.840	6.014	5.134
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	30.597	46.538	58.504	66.344	72.359	77.493

略薄,果形指数较大,叶片较窄小且叶柄较短,植株较矮且紧凑。郝卫等^[19]研究表明,叶形、株型、果形是最关键的性状,本试验结果与其一致。此外,聚类结果显示,不同地区的辣椒种质可以聚为一类,这与刘林娅等^[11]的研究结果一致,说明不同原始生境并不是造成辣椒种质表型差异的唯一因素,还与种质遗传分化和基因交流有关。

针对表型性状间的相关性分析能够揭示各性状之间的关联性,通过重要性状的表观选择和遗传改良间接地同步改良次要性状,从而加速育种进程^[20]。相关性分析结果表明,各表型性状之间存在错综复杂的关系,其中果形指数与果实横切面形状、果横径、肉厚、心室数、单果质量等果实性状及叶柄长呈极显著负相关,与分枝性和果纵径呈极显著正相关,与叶片长、叶片宽呈显著负相关,因此若想改变辣椒果形,要重视对植株分枝性和叶形的观察与利用,这与刘林娅等^[11]的研究结果一致。育种选择时可利用农艺性状间的相关性对一些目的性状进行选择,果纵径、果横径、肉厚、单果质量这些

影响产量的表型性状均与分枝性显著相关,且除果横径外,果纵径、肉厚、单果质量均与株幅呈显著或极显著正相关,因此若想提高产量,可多关注分枝性和株幅。

通过相关分析了解性状之间的相关性,再通过主成分分析,能够利用降维的方式将多个指标转化为较少的几个主成分,从而更加清楚地显示辣椒各性状的重要程度^[21]。笔者提取的特征值大于1.0的前6个主成分累计贡献率高达77.493%,从特征值和贡献率来看,表型性状中果横径、果形指数、果实横切面形状、单果质量、株高、株型、株幅、叶片宽、叶形指数、茎茸毛、花梗着生状态和花柱长度这12个表型性状能够作为评价辣椒表型遗传多样性和辣椒品种遗传改良的重要指标。

综上所述,笔者通过对40份辣椒种质资源的21个表型性状进行多样性分析,揭示了辣椒种质资源的丰富遗传多样性。结果表明,数量性状的多样性指数和变异系数均大于质量性状,尤其是株幅、果横径和肉厚等性状表现出较高的遗传变异潜力。聚类

分析将种质资源分为两个主要类群,进一步揭示了果实形态、植株结构和叶片特征等关键性状的遗传分化规律。相关性分析和主成分分析表明,果形指数、果实横切面形状等性状与产量性状,单果质量密切相关,研究结果为辣椒品种的遗传改良提供了重要依据。未来研究可进一步探讨这些性状的遗传机制,并结合分子标记辅助选择,加速辣椒育种进程。

参考文献

- [1] 邹学校,马艳青,戴雄泽,等.辣椒在中国的传播与产业发展[J].园艺学报,2020,47(9):1715-1726.
- [2] 邓惠如,张素勤,耿广东.辣椒逆境响应基因研究现状及前景[J/OL].分子植物育种,1-12(2023-11-09)[2025-03-03].<https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231108.1149.002>.
- [3] 董文堂,邓昌蓉,侯全刚,等.辣椒种质资源遗传多样性分析及核心种质构建研究进展[J].青海农林科技,2023(3):46-49.
- [4] 徐晓,杨梦颖,满全财,等.195份马铃薯种质资源表型性状综合评价[J].核农学报,2023,37(9):1710-1722.
- [5] 解慧芳,牛静,邢璐,等.117份谷子核心种质资源表型性状的遗传多样性分析[J].江苏农业科学,2023,51(13):76-81.
- [6] 王业举,张虎,张博,等.235份陆地棉表型性状遗传多样性分析[J].江苏农业学报,2023,39(3):636-644.
- [7] 贾平平,靳娟,阿布都卡尤木·阿依麦提,等.新疆118个枣品种表型性状比较分析[J].西北农业学报,2023,32(6):887-898.
- [8] 耿小丽,张榕,张少平,等.130份燕麦种质表型性状多样性分析及评价[J].草业科学,2020,37(10):2022-2034.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 刘林娅,黄亚成,杨那,等.81份辣椒种质资源表型性状的遗传多样性分析[J].热带作物学报,2023,44(4):706-715.
- [12] 吴迪,付文婷,吴康云,等.275份辣椒种质资源表型性状的遗传多样性分析[J].中国瓜菜,2024,37(9):47-53.
- [13] 朱珍花,濮丹,杨洋,等.干制辣椒种质资源表型性状遗传多样性分析[J].北方园艺,2024(6):1-8.
- [14] 李锡香,张宝玺.辣椒种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [15] 胡建斌,马双武,王吉明,等.基于表型性状的甜瓜核心种质构建[J].果树学报,2013,30(3):404-411.
- [16] 黎裕,李英慧,杨庆文,等.基于基因组学的作物种质资源研究:现状与展望[J].中国农业科学,2015,48(17):3333-3353.
- [17] 李宁,王飞,姚明华,等.国内外辣椒种质资源表型性状多样性及相关性分析[J].辣椒杂志,2015,13(1):8-13.
- [18] 赵红,曹亚从,张正海,等.我国辣椒核心种质资源园艺性状多样性的分析和评价[J].中国蔬菜,2018(1):25-34.
- [19] 赫卫,张慧,董延龙,等.辣椒种质资源形态学性状相关性、主成分与聚类分析[J].北方园艺,2018(4):9-17.
- [20] 梁永书,占小登,高志强,等.超级稻协优9308衍生群体根系与地上部重要农艺性状的相关性[J].作物学报,2011,37(10):1711-1723.
- [21] 裴芸,徐秀红,陆锦彪,等.151份贵州地方樱桃番茄资源的遗传多样性分析[J].浙江农业学报,2022,34(2):310-316.