

## 81 份辣椒种质资源表型性状的遗传多样性分析

刘林娅<sup>1,3</sup>, 黄亚成<sup>1,3</sup>, 杨 那<sup>1</sup>, 刘维侠<sup>2</sup>, 赵艳妹<sup>1</sup>, 龙彩凤<sup>1</sup>, 党选民<sup>2\*</sup>

1. 六盘水师范学院生物科学与技术学院, 贵州六盘水 553004; 2. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101; 3. 海南大学热带作物学院, 海南海口 570228

**摘要:** 本研究以 81 份辣椒为研究材料, 对 20 个表型性状进行遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析及聚类分析。结果表明: 20 个表型性状的 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 的变化范围为 5.91~6.32, 其中叶形的  $H'$  值最高, 1 个数量性状的变异系数 (coefficient of variation, CV) 为 29.28%, 表明 81 份辣椒种质的表型性状具有丰富的遗传多样性。相关性分析表明, 各表型性状间的相关系数中达到显著或极显著的性状有 65 对, 说明大部分表型性状间相互影响。主成分分析结果表明, 前 4 个主成分累计贡献率为 57.526%, 代表了辣椒表型性状的主要信息量, 说明这 4 个主成分可反映 20 个表型性状的基本特征; 从特征值和贡献率来看, 果形、果肩形状、叶形、首花节位、辣味、果色表明光滑度、子叶颜色、主茎色、花药颜色、下胚轴颜色和花柱颜色是引起辣椒种质表型差异的主要因素。聚类分析结果表明, 在遗传距离为 16.0 时, 81 份辣椒种质可聚为 5 个类群, 有效区分了不同亲缘关系的种质; 其中第 I 类群包含 21 份种质, 均为黄灯笼辣椒, 主要特征是浅绿色子叶、扁灯笼果形、辣味极辣; 第 II 类群包含 38 份种质, 以灯笼椒为主, 主要特点为无茎茸毛、分枝性中等、灯笼果形、无辣味; 第 III 类群包含 20 份种质, 以长形椒为主, 主要特征是无果肩、紫色下胚轴、辣味辣; 第 IV 类群和第 V 类群分别由 1 份种质材料组成, 表明这 2 份种质 (L206 和 L508) 与其他种质亲缘关系较远, 可用于辣椒育种的亲本选配。本研究为辣椒种质资源的利用、创新及品种选育提供了重要参考。

**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 文献标识码: A

## Genetic Diversity of Phenotypic Traits in 81 *Capsicum annuum* Germplasm

LIU Linya<sup>1,3</sup>, HUANG Yacheng<sup>1,3</sup>, YANG Na<sup>1</sup>, LIU Weixia<sup>2</sup>, ZHAO Yanmei<sup>1</sup>, LONG Caifeng<sup>1</sup>, DANG Xuanmin<sup>2\*</sup>

1. School of Biological Science and Technology, Liupanshui Normal University, Liupanshui, Guizhou 553004, China; 2. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 3. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

**Abstract:** In this study, 20 phenotypic traits of 81 *Capsicum annuum* germplasm resources were analyzed by genetic diversity, correlation, principal component analysis and cluster analysis. The result showed that the genetic diversity index ( $H'$ ) of the 20 phenotypic traits was 5.91–6.32, Shannon-Wiener diversity index of leaf shape was the highest, and one quantitative trait had the coefficient of variation (CV) of 29.28%, indicating that rich genetic diversity in the phenotypic traits of 81 *C. annuum* germplasm. The correlation analysis indicated that there were 65 correlation coefficients between traits reaching significant or extremely significant level, indicating that most phenotypic traits influenced and promoted each other. The results of principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the first four principal components was 57.526%, and represented the main information of phenotypic traits of *C. annuum*,

收稿日期 2022-06-21; 修回日期 2022-07-24

基金项目 贵州省普通高等职业院校科技拔尖人才项目 (黔教合 KY 字[2018]067); 六盘水师范学院高层次人才科研启动基金项目 (No. LPSSYKYJJ201705); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No. PZS057)。

作者简介 刘林娅 (1987—), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 蔬菜遗传育种。\*通信作者 (Corresponding author): 党选民 (DANG Xuanmin); E-mail: evergreen088@163.com。

indicating that the four principal components could reflect the basic characteristics of 20 phenotypic traits. Based on the eigenvalue and contribution rate, fruit shape, fruit shoulder shape, leaf shape, nodal position of first flower, spicy taste, fruit color, cotyledon color, main stem color, anther color, hypocotyl color and style color were the main factors causing phenotypic differences of *C. annuum* germplasms. The cluster analysis results showed that the 81 *C. annuum* germplasms were divided into 5 groups at a genetic distance of 16.0 which effectively distinguished the germplasm of different genetic relationships. Group I contained 21 germplasms that were *C. chinense* Jacquin, which had light green cotyledon, flat lantern fruit shape and extremely spicy taste. Group II contained 38 germplasms which were mainly based on *C. annuum* var. *lgrossum*, and the main characteristics were no stem hair, medium branching, lantern fruit shaped and no spicy taste. Group III contained 20 germplasms that were mainly based on *C. annuum* var. *longum*, which were mainly characterized by no shoulder shape, purple hypocotyl and spicy taste. Group IV and Group V were composed of one germplasm, indicating that the two germplasm (L206 and L508) were far related to other germplasms and could be used for parental selection in *C. annuum* breeding. The research would provide an important reference for the utilization, innovation of *C. annuum* germplasm resources and variety breeding.

**Keywords:** *Capsicum annuum* L.; germplasm resources; phenotypic trait; genetic diversity

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.04.006

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 原产于美洲的热带和亚热带地区<sup>[1-2]</sup>, 为茄科 (*Solanaceae*) 辣椒属 (*Capsicum*) 一年生或多年生草本植物<sup>[3]</sup>。辣椒是我国第二大蔬菜作物, 种植面积广, 以营养丰富、产值高、经济效益好等优点, 广受消费者的青睐<sup>[4-5]</sup>。作物种质资源是选育新作物、新品种的基础, 也是实现各个育种途径的重要材料, 对其进行深入研究, 有助于提高育种的成效<sup>[6]</sup>。遗传多样性分析是作物种质资源研究的主要内容之一<sup>[7]</sup>, 对作物种质资源遗传多样性进行研究, 有利于了解材料的遗传背景, 为种质资源的开发、利用及品种选育提供重要信息<sup>[8]</sup>。通过表型性状指标研究植物的遗传多样性, 已在甘薯 [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]、小麦 (*Triticum aestivum* L.)、软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta*)、樱桃番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill.)、冬瓜 (*Benincasa hispida* Cogn.)、桃榔 (*Arenga pinnata*)、白木香 (*Aquilaria sinensis*) 等物种中广泛应用<sup>[9-15]</sup>, 其变异特点可反映植物性状的遗传变异, 为从细胞水平和分子水平研究植物遗传多样性提供重要参考<sup>[11]</sup>。目前, 关于辣椒种质资源遗传多样性的研究报道较多。蒋向辉等<sup>[16]</sup>利用形态标记和 RAPD 标记对 9 份观赏辣椒种质资源进行了遗传多样性研究, 结果表明, 形态标记与 RAPD 标记对亲缘关系较近的品种聚类分析结果相似, 2 种方法对物种进行区分鉴定切实可行。刘林娅等<sup>[17]</sup>利用 ISSR 分子标记对 22 份国内外黄灯笼辣椒种质进行遗传多样性分析, 结果表明, 可将参试材料划

分为 4 个类群, 不同亲缘关系的种质明显分开。MONGKOLPORN 等<sup>[18]</sup>利用 10 个 SSR 位点对 230 份辣椒种质进行了遗传多样性研究, 结果将 230 份辣椒资源分为一年生辣椒和栽培种辣椒两大类, 综合应用 SSR 数据, 构建了包含 28 份核心品种的辣椒核心种质。张曼等<sup>[19]</sup>利用 SSR 标记对 112 份西南地区朝天椒种质资源进行遗传多样性分析, 结果将供试材料分为 4 类, 种质间的遗传相似性相对较高, 表明 112 份朝天椒材料的总体情况与地理分布有一定相关性。种质资源表型性状的评价与分子评价相比, 更加直接且不可替代, 已被广泛应用于亲缘关系鉴定和核心种质构建<sup>[7, 9-15, 20]</sup>。因此, 本研究以 81 份辣椒种质资源为材料, 基于 20 个表型性状对辣椒种质资源进行遗传多样性分析, 以期筛选出具有优良性状的种质资源, 为品种选育及资源利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

81 份辣椒种质由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所蔬菜研究中心提供, 包括 53 份海南本地种质、8 份山西引进资源、9 份河南引进资源、1 份云南引进资源和 10 份国外引进资源(表 1)。按随机区组设计种植于中国热带作物品种资源研究所蔬菜基地, 3 次重复, 株行距为 50 cm × 70 cm。

### 1.2 方法

性状调查参照《辣椒种质资源描述规范和数

表1 供试辣椒材料  
Tab. 1 *C. annuum* accessions

编号No.	来源Origin	编号No.	来源Origin	编号No.	来源Origin
中国		L51	海南省	L11-2S	河南省
L501	海南省	L61-S	海南省	L242	河南省
L503	海南省	L64-S	海南省	L243	河南省
L505	海南省	L65-S	海南省	L244	河南省
L506	海南省	L68-S	海南省	L246	河南省
L507-1	海南省	L69-S	海南省	L247	河南省
L508	海南省	L71-SM	海南省	L248	河南省
L509	海南省	L72-S	海南省	L249-1	河南省
L511-1	海南省	L75	海南省	L1-1	山西省
L512	海南省	L76	海南省	L5-S	山西省
L513	海南省	L78	海南省	L10-S	山西省
L514	海南省	L202-S	海南省	L23-1SM	山西省
L515-1	海南省	L203-SA	海南省	L24-1	山西省
L516	海南省	L205-1M	海南省	L254	山西省
L517	海南省	L206M	海南省	L255	山西省
L2-S	海南省	L207MA1	海南省	L262	山西省
L8-SM1	海南省	L208M1	海南省	国外	
L9-S-1	海南省	L210-SA1	海南省	L504	巴西
L12-S	海南省	L211-SM	海南省	L519	巴西
L17	海南省	L212M	海南省	L520	巴西
L25	海南省	L234	海南省	L521	巴西
L28	海南省	L235	海南省	L522	巴西
L30	海南省	L236	海南省	L523	巴西
L31	海南省	L237	海南省	L201-1S1	泰国
L32	海南省	L238	海南省	L264	泰国
L34	海南省	L239	海南省	L265	泰国
L35-1	海南省	L518	云南省	L502	英国
L43	海南省	L4-SM	河南省		

据标准》<sup>[21]</sup>提供的辣椒表型性状描述及赋值标准,对 20 项表型性状进行观察和测量。各个性状的调查时期参照表 2 进行,花的性状在上午 7:00—9:00 时观察,每株取 5 朵花记录;全生育期每份材料随机选取 10 株进行观测。

### 1.3 数据处理

使用 Excel 2010 软件进行数据整理,计算数量性状的基本统计量(包括最小值、最大值、平均值、标准差和变异系数)和质量性状的分布频率;利用 SPSS 16.0 软件进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。用 Shannon-Wiener 多样性指数( diversity index,  $H'$ )表示遗传多样性指数,并通过 DPS7.05 软件计算得到  $H'$  值,计算公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

其中  $S$  表示总的物种数,  $P_i$  表示第  $i$  个种占总数的比率<sup>[22]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 辣椒种质资源数量性状与质量性状的多样性分析

通过对 81 份辣椒种质资源 1 个数量性状(首花节位)的遗传多样性进行分析,结果表明,首花节位的遗传多样性指数( $H'$ )为 6.20,变异系数为 29.28%,变异范围为 5.40~16.00。81 份辣椒种质资源首花节位的变异系数大于 10%,说明供试材料在此性状上存在着较大程度的变异。遗传多样性指数越大,表明该性状的表型多样性越丰富<sup>[23]</sup>。由此可见,首花节位的表型多样性比较丰富。

对 81 份辣椒种质资源的 19 个质量性状进行遗传多样性分析(表 3),结果表明遗传多样性指数  $H'$  的变化范围为 5.91~6.32。 $H'$  最大的是叶形,大多数为长卵形,分布频率为 82.7%;果形的  $H'$

表2 辣椒表型性状调查项目及赋值情况  
Tab. 2 Main phenotypic traits and criteria for *C. annuum* characterization

性状 Trait	调查时期 Investigation period	调查记载及赋值标准 Investigation record and valuation criteria
首花节位(X <sub>1</sub> )	初花期	直接采用实测数值
子叶颜色(X <sub>2</sub> )	幼苗期(定植前)	1.浅绿; 2.绿; 3.深绿; 4.紫
下胚轴颜色(X <sub>3</sub> )	幼苗期(定植前)	1.绿; 2.绿带紫条纹; 3.紫
分枝性(X <sub>4</sub> )	初花期	1.强; 2.中; 3.弱
主茎色(X <sub>5</sub> )	初花期	1.黄绿; 2.浅绿; 3.绿; 4.深绿; 5.绿带紫条纹; 6.紫
茎茸毛(X <sub>6</sub> )	初花期	1.无; 2.稀; 3.中; 4.密
叶形(X <sub>7</sub> )	初花期	1.卵圆; 2.长卵圆; 3.披针形
叶面特征(X <sub>8</sub> )	初花期	1.平滑; 2.微皱; 3.皱
花冠色(X <sub>9</sub> )	初花期	1.白; 2.浅绿; 3.紫; 4.绿白相间
花药颜色(X <sub>10</sub> )	初花期	1.白; 2.浅黄; 3.黄; 4.浅蓝; 5.蓝; 6.紫
花柱颜色(X <sub>11</sub> )	初花期	1.白; 2.蓝; 3.紫
花柱长度(X <sub>12</sub> )	初花期	1.短于雄蕊; 2.与雄蕊近等长; 3.长于雄蕊
青熟果色(X <sub>13</sub> )	绿收期	1.黄白; 2.乳黄; 3.黄绿; 4.浅绿; 5.绿; 6.深绿; 7.墨绿; 8.紫; 9.紫黑; 10.白紫
果形(X <sub>14</sub> )	绿收期	1.扁灯笼形; 2.方灯笼形; 3.长灯笼形; 4.短锥形; 5.长锥形; 6.短牛角形; 7.长牛角形; 8.短羊角形; 9.长羊角形; 10.短指形; 11.长指; 12.线形; 13.圆球形
果肩形状(X <sub>15</sub> )	绿收期	1.无果肩; 2.凸; 3.微凹近平; 4.凹陷
果顶形状(X <sub>16</sub> )	绿收期	1.细尖; 2.钝圆; 3.凹; 4.凹陷带尖
果实表面光滑度(X <sub>17</sub> )	绿收期	1.光滑; 2.轻度皱缩; 3.皱缩
果姿(X <sub>18</sub> )	绿收期	1.向上; 2.不一定; 3.向下
老熟果色(X <sub>19</sub> )	红收期	1.橙黄; 2.橘红; 3.鲜红; 4.暗红; 5.紫红; 6.咖啡色; 7.白色
辣味(X <sub>20</sub> )	红收期	1.无辣味; 2.极轻微辣; 3.微辣; 4.辣; 5.极辣

最小,以扁灯笼形和方灯笼形为主,分布频率为21.0%和22.2%;子叶颜色以深绿色居多,占39.5%,绿色占37.0%;下胚轴颜色主要以紫色为主,占60.5%;分枝性大多表现为中等,占67.9%;主茎色多为绿带紫条纹,占72.8%;参试材料中有70.4%无茎茸毛,61.7%的叶面是平滑的,54.3%的花柱长度长于雄蕊;花冠色和花柱颜色以白色居多,分别占65.4%和88.9%;花药颜色以蓝色为主,占54.3%;青熟果色多为绿色,占42.0%;供试材料中有49.4%的果肩形状为微凹近平,44.4%的果顶形状为细尖形,45.7%的果实表面光滑,85.2%的果姿向下;老熟果色主要以橙黄和鲜红为主,分别占34.6%和39.5%;辣味多为无辣味,占42.0%,辣占24.7%。

## 2.2 辣椒种质资源表型性状的相关性分析

对辣椒种质资源的20个表型性状进行相关性分析(表4),结果显示,辣椒种质资源各表型性状间有65对性状存在显著或极显著相关性。首花节位与花冠色、花柱长度、果实表面光滑度和辣味极显著正相关,相关系数分别为0.531、0.369、0.546和0.738;首花节位与子叶颜色、花

柱颜色、青熟果色、果形呈极显著或显著负相关。子叶颜色与青熟果色、果形呈显著或极显著正相关,相关系数为0.266和0.410;子叶颜色与花冠色、果实表面光滑度、果姿、辣味呈显著或极显著负相关。下胚轴颜色与主茎色、叶形、花药颜色、花柱长度、青熟果色、果形呈显著或极显著正相关,相关系数为0.275~0.410;下胚轴颜色与叶面特征、果肩形状呈极显著负相关。分枝性与果肩形状、果顶形状呈极显著或显著正相关,相关系数分别为0.468和0.241;分枝性与叶形、花柱长度、果形呈极显著负相关。主茎色与花药颜色呈极显著正相关,相关系数为0.322;主茎色与果姿呈显著负相关。茎茸毛与叶形、辣味呈极显著或显著正相关,相关系数分别为0.316和0.261。叶形与花柱长度、青熟果色、果形、辣味呈极显著或显著正相关,相关系数分别为0.299、0.294、0.578和0.238;叶形与叶面特征、果肩形状、果顶形状、果实表面光滑度、果姿呈显著或极显著负相关。叶面特征与果肩形状、果顶形状呈极显著正相关,相关系数分别为0.413和0.410;叶面特征与花柱长度、青熟果色、辣味呈极显著负相

表3 辣椒种质资源质量性状频率分布和多样性指数  
Tab. 3 Analysis of diversity for *C. annuum* germplasm quantitate

质量性状 Quality trait	多样性指 数 $H'$	分布频数Distribution frequency/%												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
X <sub>2</sub>	6.24	23.5	37.0	39.5										
X <sub>3</sub>	6.27	14.8	24.7	60.5			1.2							
X <sub>4</sub>	6.28	17.3	67.9	14.8										
X <sub>5</sub>	6.31		1.2	24.7		72.8								
X <sub>6</sub>	6.16	70.4	16.0	9.9	3.7									
X <sub>7</sub>	6.32	2.5	82.7	14.8										
X <sub>8</sub>	6.20	61.7	27.2	11.1			28.4							
X <sub>9</sub>	6.22	65.4	32.1		2.5									
X <sub>10</sub>	6.29		11.1	2.5	3.7	54.3								
X <sub>11</sub>	6.20	88.9		11.1			17.3	2.5	3.7		1.2			
X <sub>12</sub>	6.26	16.0	29.6	54.3			4.9	2.5	1.2	6.2	11.1	2.5	6.2	
X <sub>13</sub>	6.23	4.9	1.2	21.0	6.2	42.0								
X <sub>14</sub>	5.91	21.0	22.2	12.3	6.2	3.7								
X <sub>15</sub>	6.20	28.4	4.9	49.4	17.3									
X <sub>16</sub>	6.14	44.4	7.4	37.0	11.1									
X <sub>17</sub>	6.19	45.7	25.9	28.4			7.4							
X <sub>18</sub>	6.29	9.9	4.9	85.2										
X <sub>19</sub>	6.09	34.6	6.2	39.5	11.1	1.2								
X <sub>20</sub>	6.06	42.0	3.7	6.2	24.7	23.5								

关。花冠色与花柱长度、果实表面光滑度、辣味呈显著或极显著正相关，相关系数分别为 0.259、0.577 和 0.413；花冠色与果形呈极显著负相关。花药颜色与花柱长度呈显著相关，相关系数为 0.268。花柱长度与果形、辣味呈极显著正相关，相关系数分别为 0.349 和 0.500；花柱长度与果肩形状呈极显著负相关。青熟果色与果色表明光滑度呈极显著负相关。果形与果肩形状、果顶形状、果实表面光滑度、果姿呈极显著负相关。果肩形状与果顶形状、果实表面光滑度、果姿呈显著或极显著正相关，相关系数分别为 0.570、0.228 和 0.372；果肩形状、果顶形状与辣味呈极显著负相关。果实表面光滑度与果姿、辣味呈极显著正相关，相关系数分别为 0.368 和 0.466。可见，辣椒种质大部分表型性状间表现为相互影响与相互促进。

### 2.3 主成分分析

对 81 份辣椒种质资源表型性状进行主成分分析（表 5），由表可知，从 20 个表型性状中提取特征值大于 1.0 的前 4 个主成分，贡献率分别为 22.030%、18.472%、9.091% 和 7.933%，累计贡献率达 57.526%，前 4 个主成分代表了辣椒表

型性状的主要信息量，说明这 4 个主成分可反映 20 个表型性状的基本特征。其中，第 1 主成分的特征值为 4.406，贡献率为 22.030%，特征向量绝对值较高的有果形、果肩形状和叶形，特征向量分别为 0.867、-0.874 和 0.756，主要反映果实和叶的形状；第 2 主成分的特征值 3.690，贡献率向量分别为 0.876、0.831、0.796 和 -0.724；第 3 主成分的特征值 1.818，贡献率为 9.091%，主茎色、花药颜色、下胚轴颜色的特征向量较高，分别为 0.696、0.632、0.605，反映主茎、花药和下胚轴的颜色；第 4 主成分的特征值为 1.587，贡献率为 7.933%，反映花柱颜色，特征值为 0.619。从特征值和贡献率来看，果形、果肩形状、叶形、首花节位、辣味、果实表面光滑度、子叶颜色、主茎色、花药颜色、下胚轴颜色和花柱颜色共 11 个表型性状是引起辣椒种质表型差异的主要因素，对辣椒种质的利用、创新与资源的评价具有一定参考依据。

### 2.4 聚类分析

对 81 份辣椒种质资源的 20 个表型性状进行聚类分析，结果如图 1 所示，在遗传距离为 16.0

表 4 供试辣椒 20 个表型性状的相关性分析  
Tab. 4 Correlation analysis of 20 phenotypic characteristics of test *C. annuum* materials

性状 Trait	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>	X <sub>20</sub>	
X <sub>1</sub>	1.000																				
X <sub>2</sub>	-0.560**	1.000																			
X <sub>3</sub>	0.095	0.131	1.000																		
X <sub>4</sub>	0.104	-0.103	-0.121	1.000																	
X <sub>5</sub>	0.047	0.082	0.277*	0.142	1.000																
X <sub>6</sub>	0.181	-0.021	0.156	-0.135	0.044	1.000															
X <sub>7</sub>	0.015	0.216	0.313**	-0.316**	0.040	0.316**	1.000														
X <sub>8</sub>	-0.113	-0.056	-0.323**	0.127	-0.044	-0.149	-0.269*	1.000													
X <sub>9</sub>	0.531**	-0.386**	-0.043	0.063	-0.117	0.145	-0.197	-0.110	1.000												
X <sub>10</sub>	0.007	-0.057	0.410**	-0.023	0.322**	-0.023	0.009	-0.191	-0.195	1.000											
X <sub>11</sub>	-0.297**	0.129	-0.006	0.085	-0.143	-0.155	-0.110	-0.140	-0.035	0.173	1.000										
X <sub>12</sub>	0.369**	-0.042	0.355**	-0.328**	0.109	0.191	0.299**	-0.300**	0.259*	0.268*	0.029	1.000									
X <sub>13</sub>	-0.305**	0.266*	0.319**	0.111	0.128	0.125	0.294**	-0.056	-0.020	0.093	0.144	-0.023	1.000								
X <sub>14</sub>	-0.236*	0.410**	0.275*	-0.456**	0.031	0.111	0.578**	-0.41**	-0.370**	0.100	0.028	0.349**	0.139	1.000							
X <sub>15</sub>	-0.057	-0.107	-0.335**	0.468**	0.129	-0.184	-0.565**	0.413**	0.078	-0.154	-0.036	-0.480**	-0.166	-0.820**	1.000						
X <sub>16</sub>	-0.146	-0.013	-0.158	0.241*	0.184	-0.158	-0.321**	0.410**	0.094	-0.041	-0.082	-0.187	0.147	-0.530**	0.570**	1.000					
X <sub>17</sub>	0.546**	-0.636**	-0.072	0.043	-0.116	-0.026	-0.305**	0.019	0.577**	-0.024	-0.114	0.203	-0.310**	-0.470**	0.228*	0.014	1.000				
X <sub>18</sub>	-0.163	-0.251*	-0.104	-0.017	-0.225*	-0.161	-0.479**	0.200	0.061	0.123	0.078	-0.196	-0.024	-0.420**	0.372**	0.214	0.368**	1.000			
X <sub>19</sub>	-0.051	-0.010	-0.041	-0.066	-0.086	0.081	-0.003	0.185	-0.022	0.078	0.135	0.207	0.038	0.113	-0.129	0.011	0.006	0.033	1.000		
X <sub>20</sub>	0.738**	-0.507**	0.128	-0.213	-0.046	0.261*	0.238*	-0.370**	0.413**	0.124	-0.125	0.500**	-0.193	0.128	-0.428**	-0.415**	0.466**	-0.139	0.022	1.000	

注：\*表示显著相关 ( $P<0.05$ )，\*\*表示极显著相关 ( $P<0.01$ )。  
Note: \* indicates significant correlation ( $P<0.05$ ), \*\* indicates extremely significant correlation ( $P<0.01$ ).

表 5 辣椒种质资源形态学性状的主成分分析  
Tab. 5 Principal component analysis of *C. annuum* germplasm resources

性状 Trait	主成分 Principal component			
	PC1	PC2	PC3	PC4
X <sub>1</sub>	-0.001	0.876	0.089	-0.241
X <sub>2</sub>	0.280	-0.724	-0.009	-0.093
X <sub>3</sub>	0.489	0.038	0.605	0.088
X <sub>4</sub>	-0.540	-0.064	0.319	-0.167
X <sub>5</sub>	0.066	-0.092	0.696	-0.299
X <sub>6</sub>	0.341	0.214	0.073	-0.381
X <sub>7</sub>	0.756	-0.073	-0.019	-0.337
X <sub>8</sub>	-0.548	-0.201	-0.127	-0.153
X <sub>9</sub>	-0.175	0.688	0.049	-0.093
X <sub>10</sub>	0.225	0.027	0.632	0.470
X <sub>11</sub>	0.030	-0.218	0.048	0.619
X <sub>12</sub>	0.545	0.448	0.210	0.163
X <sub>13</sub>	0.210	-0.358	0.429	-0.067
X <sub>14</sub>	0.867	-0.262	-0.195	0.076
X <sub>15</sub>	-0.874	-0.091	0.179	-0.148
X <sub>16</sub>	-0.593	-0.199	0.354	-0.191
X <sub>17</sub>	-0.334	0.796	0.018	0.174
X <sub>18</sub>	-0.500	0.079	0.051	0.552
X <sub>19</sub>	0.081	-0.018	-0.071	0.264
X <sub>20</sub>	0.382	0.831	-0.036	0.009
特征值	4.406	3.690	1.818	1.587
贡献率/%	22.030	18.472	9.091	7.933
累积贡献率/%	22.030	40.502	49.593	57.526

处可将其划分为五大类群。

第 I 类群共包括 21 份材料，均为黄灯笼辣椒，引自英国、巴西和中国海南、云南，占供试种质总数的 25.9%。其主要特征是子叶颜色以浅绿为主，分枝性多为中等，花冠色为浅绿，花柱颜色为白色，大部分辣椒种质的叶形为长卵圆形、果肩形状为微凹近平、果实表面光滑度为皱缩、果形为扁灯笼形，果姿向下，辣味以极辣为主，首花节位的平均值为 13.2，高于其他类群。

第 II 类群共 38 份材料，包含 31 份灯笼椒及 7 份长形椒，其中灯笼椒引自山西、海南、河南，长形椒引自海南，是总数最大的一类，占供试种质总数的 46.9%。其主要特征是果形以灯笼形为主，叶形为长卵形，无茎茸毛，分枝性中等，主茎色多为绿带紫条纹，花柱颜色和花冠色以白色为主，果姿向下，无辣味。

第 III 类群共 20 份材料，包含 13 份长形椒和

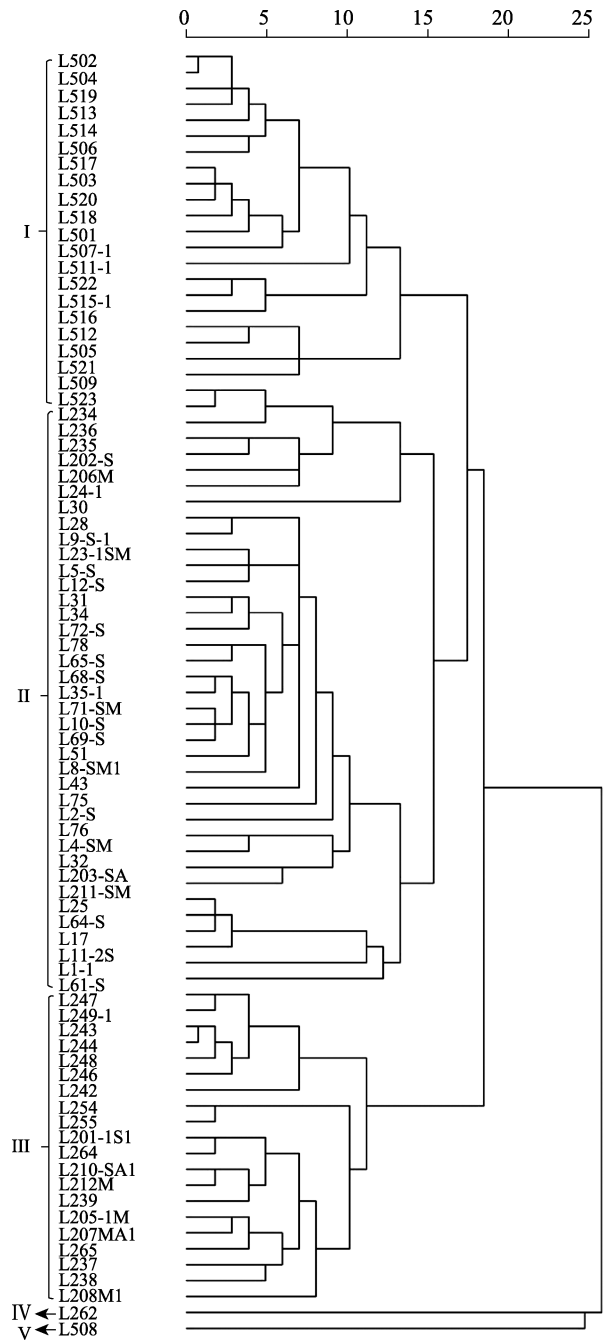


图 1 81 份辣椒种质资源表型性状聚类分析  
Fig. 1 Cluster analysis of phenotypic characters of 81 *C. annuum* germplasm resources

7 份簇生椒，长形椒引自泰国和中国山西、海南，簇生椒引自中国河南，占供试种质的 24.7%。其主要特征是下胚轴颜色以紫色为主，叶面特征多为平滑，花柱颜色为白色，花药颜色以蓝色为主，花柱长度多为长于雄蕊，大部分辣椒种质无果肩、果顶形状为细尖形、老熟果色为鲜红，辣味以辣为主。

第 IV 类群只有 L262 一份材料，其主要特征为

子叶颜色为绿色,分枝性弱,花冠色绿白相间,花药颜色为黄色,花柱颜色为紫色,青熟果色为白紫色,果实表面光度为光滑,果姿不定,极轻微辣。

第V类群仅有1份黄灯笼辣椒L508,来自海南,是海南本地黄灯笼辣椒与普通辣椒杂交后代分离得到的自交系。其主要特征为子叶颜色为深绿,分枝性强,主茎色为浅绿,花冠色呈绿白相间,花药颜色为浅黄,青熟果色为浅绿,无辣味,与其他黄灯笼辣椒种质有较大的差异,所以单独聚为一类。

### 3 讨论

种质资源是作物遗传改良和相关研究的物质基础<sup>[24]</sup>。优异种质资源的发现与利用是未来作物育种上重大突破的关键,拥有种质资源的数量和质量,以及对所拥有种质资源的研究程度,将决定其育种工作的成败及其在遗传育种领域的地位<sup>[6]</sup>。因此,对种质资源进行表型性状调查及遗传多样性分析,可为育种工作提供重要信息<sup>[7]</sup>。本研究通过对81份辣椒种质的20个表型性状进行遗传多样性分析,发现首花节位的变异系数为29.28%,变异范围为5.40~16.00,说明供试材料在该性状上存在较大程度的变异,与张强强等<sup>[25]</sup>和赫卫等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。此外,本研究中的20个表型性状的遗传多样性指数( $H'$ )均超过5.9,而潘宝贵等<sup>[27]</sup>的研究结果显示,在辣味、叶形、主茎色、花柱长度等性状的遗传多样性指数( $H'$ )较低( $H' < 1$ ),甚至辣味的遗传多样性指数( $H'$ )为0。这主要是因为潘宝贵等<sup>[27]</sup>的研究材料来自江苏省的不同市县,遗传背景差异较小,而本研究的试验材料来自国内外的不同地区,遗传背景差异较大。

表型性状间的相关性分析能揭示性状之间的关联性,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<sup>[28]</sup>。表型性状相关性分析表明,果肩形状与果顶形状呈极显著正相关,与林子翔<sup>[29]</sup>和裴红霞等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。观测的3个与果形相关的性状(果形、果肩形状和果顶形状)与叶形呈极显著相关,因此,若改变辣椒的果形,则需要关注叶形。调查的8个与颜色相关的性状(子叶颜色、下胚轴颜色、主茎色、花冠色、花药颜色、花柱颜色、青熟果色和老熟果色),除了老熟果色,其他7

个颜色相关性状之间存在一定的联系,这与白健君等<sup>[31]</sup>的研究结果略有不同,究其原因可能是观测的老熟果色受环境条件及观测时间的影响较大。而辣味与首花节位、茎茸毛、叶形、花冠色、花柱长度和果实表面光滑度6个性状呈显著正相关,与子叶颜色、叶面特征、果肩性状和果顶形状4个性状呈显著负相关。结果表明辣味是一个综合的性状,要改善辣椒的辣味,可以以这10个性状为主进行选育。

根据各指标间的相互关系进行主成分分析,利用降维的方式将几种主要的农作指数转化为较少的几个主要成分,能够清楚地显示辣椒各性状的重要程度<sup>[12]</sup>。本研究提取的前4个主成分贡献率达57.526%,基本能反映20个表型性状的基本特征,其中果形、果肩形状、叶形、首花节位、主茎色等11个表型性状可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。通过聚类分析,在遗传距离为16.0处将81份种质资源分成了5类,各类群之间存在明显的表型差异。其中第I类均为黄灯笼辣椒,具有果形为扁灯笼形、辣味极辣、子叶颜色为浅绿色等特点;第II类包含31份灯笼椒及7份长形椒,具有无茎茸毛、分枝性中等、无辣味等特点;第III类包含13份长形椒和7份簇生椒,具有无果肩、叶面平滑、辣味辣等特点。此外,聚类结果也显示不同地区的辣椒种质也可以聚为一类,说明不同的原始生境并不是造成辣椒种质表型差异的唯一因素,种质表型的差异还与种质的遗传分化和基因交流相关。其中第IV类群和第V类群均由1份种质材料组成,说明L262和L508与其他种质亲缘关系较远,可用于辣椒育种的亲本选配,这一结果与已发表的研究结果一致<sup>[17]</sup>。本研究结果表明,81份辣椒种质的遗传多样性比较丰富,为辣椒资源的利用、创新和品种的选育提供了重要参考。

### 参考文献

- [1] DAVENPORT L J. Genera *Solanacearum*: the genera of Solanaceae illustrated, arranged according to a new system by Armando T. Hunziker[J]. Systematic Botany, 2004, 29(1): 221-222.
- [2] MONGKOLPORN O, TAYLOR P W J. Capsicum[M]//Wild crop relatives: genomic and breeding resources. Berlin: Springer, 2011: 43-57.
- [3] 高晶霞, 颜秀娟, 吴雪梅, 谢华, 王学梅. 辣椒不同种质

- 资源种子萌发期耐盐性评价[J]. 北方农业学报, 2018, 46(6): 102-109.
- GAO J X, YAN X J, WU X M, XIE H, WANG X M. Evaluation of salt resistance of different germplasm resources of pepper at different germination stages[J]. Journal of Northern Agriculture, 2018, 46(6): 102-109. (in Chinese)
- [4] 聂楚楚, 王秀峰, 张悦, 马艺莽, 王健鹏. 我国辣椒育种研究现状[J]. 吉林蔬菜, 2016(1): 35-37.
- NIE C C, WANG X F, ZHANG Y, MA Y Q, WANG J L. Research situation of pepper breeding research in China[J]. Jilin Vegetable, 2016(1): 35-37. (in Chinese)
- [5] 邵元健, 吴雯雯, 沈素香, 赵闪闪. 辣椒雄性核不育基因的遗传研究及其在杂交育种中的应用[J]. 热带亚热带植物学报, 2013, 21(1): 93-99.
- SHAO Y J, WU W W, SHEN S X, ZHAO S S. Genetic study on genic male sterility of pepper and its application hybrid breeding[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2013, 21(1): 93-99. (in Chinese)
- [6] 张天真. 作物育种学总论(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- ZHANG T Z. General theory of crop breeding (3rd edition)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2011. (in Chinese)
- [7] 刘子记, 申龙斌, 杨衍, 曹振木. 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, CAO Z M. Genetic diversity and kinship analysis of core germplasm of *Capsicum annuum* var. *grossum*[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2016, 44(5): 199-202. (in Chinese)
- [8] 王振东, 陈超力, 于佰双, 李进荣, 王惠. 大豆抗旱种质资源遗传多样性的 SSR 分析[J]. 大豆科学, 2010, 29(3): 370-373.
- WANG Z D, CHEN C L, YU B S, LI J R, WANG H. SSR analysis of genetic diversity of soybean germplasm in drought resistance[J]. Soybean Science, 2010, 29(3): 370-373. (in Chinese)
- [9] 姚祝芳, 张雄坚, 杨义伶, 黄立飞, 陈新亮, 姚肖健, 罗忠霞, 陈景益, 王章英, 房伯平. 177 份甘薯地方资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 作物学报, 2022, 48(9): 2228-2241.
- YAO Z F, ZHANG X J, YANG Y L, HUANG L F, CHEN X L, YAO X J, LUO Z X, CHEN J Y, WANG Z Y, FANG B P. Genetic diversity of phenotypic traits in 177 sweetpotato landraces[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(9): 2228-2241. (in Chinese)
- [10] 张凡, 刘国涛, 杨春玲. 620 份小麦种质资源农艺性状调查及其遗传多样性分析[J]. 山东农业科学, 2022, 54(3): 15-21.
- ZHANG F, LIU G T, YANG C L. Analysis of agronomic characters and genetic diversity of 620 wheat germplasms[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2022, 54(3): 15-21. (in Chinese)
- [11] 李红莉, 王澎, 李雪, 陶双勇, 孙强, 逢宏扬, 张跃新, 孙向辉. 黑龙江野生软枣猕猴桃种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 经济林研究, 2022, 40(1): 150-158.
- LI H L, WANG P, LI X, TAO S Y, SUN Q, PANG H Y, ZHANG Y X, SUN X H. Genetic diversity of phenotypic traits in wild *Actinidia arguta* germplasm resources in Heilongjiang[J]. Non-wood Forestry Research, 2022, 40(1): 150-158. (in Chinese)
- [12] 裴芸, 徐秀红, 陆锦彪, 陈阿敏, 张万萍. 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.
- PEI Y, XU X H, LU J B, CHEN A M, ZHANG W P. Genetic diversity analysis of 151 cherry tomato resources in Guizhou province[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2022, 34(2): 310-316. (in Chinese)
- [13] 关峰, 石博, 万新建, 张景云, 黄长林, 张会国, 黄国东. 江西省地方冬瓜种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2022, 23(2): 385-397.
- GUAN F, SHI B, WAN X J, ZHANG J Y, HUANG C L, ZHANG H G, HUANG G D. Genetic diversity analysis of wax gourd resources collected from Jiangxi province using phenotypic traits[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(2): 385-397. (in Chinese)
- [14] 兰秀, 杨海霞, 李恒锐, 梁振华, 马仙花, 刘连军, 陈海生. 16 份桃椰种质主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. 西南农业学报, 2022, 35(5): 1000-1009.
- LAN X, YANG H X, LI H R, LIANG Z H, MA X H, LIU L J, CHEN H S. Genetic diversity analysis of main agronomic characters of 16 *Arenga pinnata* germplasm resources[J]. Southwest China Journal of Agriculture Sciences, 2022, 35(5): 1000-1009. (in Chinese)
- [15] 周元元, 王军, 杨照剑, 王德立, 徐诗涛. 不同白木香种质叶表型遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(21): 7281-7294.
- ZHOU Y Y, WANG J, YANG Z J, WANG D L, XU S T. Genetic diversity on leaf phenotypes of different *Aquilaria sinensis* germplasms[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(21): 7281-7294. (in Chinese)
- [16] 蒋向辉, 余朝文, 谷合勇, 伍贤进. 湖南 9 个地方观赏辣椒品种形态标记与 RAPD 标记的比较研究[J]. 江苏农业科学, 2007(6): 119-122.
- JIANG X H, SHE C W, GU H Y, WU X J. Comparative study of morphological markers and RAPD markers of 9 local ornamental pepper varieties in Hunan[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2007(6): 119-122. (in Chinese)
- [17] 刘林娅, 党选民, 曹振木, 刘维侠. 黄灯笼辣椒种质资源

- 遗传多样性 ISSR 分析[J]. 热带作物学报, 2013, 34(2): 211-217.
- LIU L Y, DANG X M, CAO Z M, LIU W X. ISSR analysis on genetic diversity of *Capsicum chinense* Jacquin germplasm resource[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2013, 34(2): 211-217. (in Chinese)
- [18] MONGKOLPORN O, HANYONG S, CHUNWONGSE J, WASEE S. Establishment of a core collection of chilli germplasm using microsatellite analysis[J]. Plant Genetic Resources, 2015, 13(2): 1-7.
- [19] 张曼, 任佳佳, 王钦, 安朝龙, 吴培云, 谢龙安, 李伟. 基于 SSR 标记的朝天椒种质遗传多样性分析[J]. 河南农业科学, 2020, 49(7): 101-109.
- ZHANG M, REN J J, WANG Q, AN C L, WU P Y, XIE L A, LI W. Analysis of genetic diversity in germplasm of *Capsicum frutescens* based on SSR markers[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2020, 49(7): 101-109. (in Chinese)
- [20] 马蓉丽, 焦彦生, 成妍, 乔宁. 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, QIAO N. Analysis on genetic diversity of pepper resources based on phenotypic traits[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2015, 43(12): 1577-1581. (in Chinese)
- [21] 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.
- LI X X, ZHANG B X. Description specification and data standard for pepper germplasm resources[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016. (in Chinese)
- [22] PIELOU E C. Ecological diversity[M]. New York: Wiley, 1975.
- [23] 林丹. 白木香遗传多样性分析及核心种质的初步构建[D]. 广州: 广东药科大学, 2018.
- LIN D. Analysis of genetic diversity and preliminary construction of core collection of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng[D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2018. (in Chinese)
- [24] 黎裕, 李英慧, 杨庆文, 张锦鹏, 张金梅, 邱丽娟, 王天宇. 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.
- LI Y, LI Y H, YANG Q W, ZHANG J P, ZHANG J M, QIU L J, WANG T Y. Genomics-based crop germplasm research: advances and perspectives[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(17): 3333-3353. (in Chinese)
- [25] 张强强, 梁赛, 王艳, 贾利, 方凌, 张其安, 江海坤, 隋益虎, 董言香. 基于表型性状和 SSR 标记的 57 份辣椒种质遗传多样性分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(4): 356-366.
- ZHANG Q Q, LIANG S, WANG Y, JIA L, FANG L, ZHANG Q A, JIANG H K, SUI Y H, DONG Y X. Genetic diversity analysis of 57 germplasms of *Capsicum annuum* based on phenotypic traits and SSR markers[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2020, 28(4): 356-366. (in Chinese)
- [26] 赫卫, 张慧. 基于表型性状和 SRAP 标记的观赏用辣椒种质资源遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(1): 16-23.
- HE W, ZHANG H. Analysis of genetic diversity of pepper germplasm resources for ornamental based on phenotypic traits and SRAP markers[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(1): 16-23. (in Chinese)
- [27] 潘宝贵, 郭广君, 刁卫平, 刘金兵, 高长洲, 颜伟, 王述彬. 江苏省辣椒地方种质资源表型性状的遗传多样性评价[J]. 辣椒杂志, 2021, 19(3): 1-7.
- PAN B G, GUO G J, DIAO W P, LIU J B, CAO C Z, YAN W, WANG S B. Evaluation on the genetic diversity of phenotypic traits of local pepper germplasm resources in Jiangsu province[J]. Journal Of China Capsicum, 2021, 19(3):1-7. (in Chinese)
- [28] 梁永书, 占小登, 高志强, 林泽川, 沈希宏, 曹立勇, 程式华. 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.
- LIANG Y S, ZHAN X D, GAO Z Q, LIN Z C, SHEN X H, CAO L Y, CHENG S H. Phenotypic relationship between roots and important shoot agronomic traits using a RIL and two derived backcross populations of super rice Xieyou 9308[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(10): 1711-1723. (in Chinese)
- [29] 林子翔. 观赏辣椒种质资源园艺性状的多元统计分析 with 种质创新研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2020.
- LIN Z X. Multivariate statistical analysis and sermplasm innovation of ornamental pepper germplasm resources[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2020. (in Chinese)
- [30] 裴红霞, 高晶霞, 王学梅. 220份辣椒种质形态学性状的遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(4): 1331-1347.
- PEI H X, GAO J X, WANG X M. Genetic diversity analysis of morphological traits in 220 pepper germplasm accessions[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(4): 1331-1347. (in Chinese)
- [31] 白健君, 郭咏梅, 段旭东, 郭妮妮, 王军娥. 41份辣椒种质资源果形果色及其相关性状的聚类分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, 41(5): 68-78.
- BAI J J, GUO Y M, DUAN X D, GUO N N, WANG J E. Cluster analysis of fruit shape, fruit color and related traits of 41 pepper germplasm resources[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2021, 41(5): 68-78. (in Chinese)