

# 湖北省丝瓜地方资源的遗传多样性分析

李庆珂<sup>1,2,3</sup>, 易丽聪<sup>2,3</sup>, 王运强<sup>2,3</sup>, 周伟<sup>2,3</sup>, 伍娜<sup>2,3</sup>, 徐劲松<sup>1</sup>, 戴照义<sup>2,3</sup>

(1. 长江大学农学院 湖北荆州 434000; 2. 蔬菜种质创新与遗传改良湖北省重点实验室 武汉 430064;  
3. 湖北省农业科学院经济作物研究所 武汉 430064)

**摘要:** 为对湖北省丝瓜地方资源进行初步鉴定, 对湖北本地 46 份丝瓜种质资源的 34 个表型性状进行了遗传多样性分析。数量性状的平均变异系数为 20.69%, 其中瓜长的变异系数最大(35.41%), 棱数变异系数最小(12.10%); 质量性状的平均变异系数为 31.66%, 其中瓜斑纹色变异系数最大(65.78%), 叶缘的变异系数最小(6.90%)。数量性状平均多样性信息指数为 1.829, 质量性状的平均多样性信息指数为 0.686。相关性分析表明, 部分性状间存在显著或极显著相关。叶片长与叶片宽、子叶宽相互之间呈极显著正相关; 主蔓粗与叶片长和叶片宽、瓜肉厚与瓜横径呈极显著正相关。对 46 份丝瓜种质资源用 DPS 数据处理系统进行聚类分析和主成分分析, 结果表明在欧式距离 124.6 处可以把 46 份丝瓜种质聚为 3 类。利用 34 个性状进行主成分分析, 其中特征值大于 1 的前 10 个主成分累积贡献率达 80.04%。研究结果可以为湖北省地方丝瓜资源的分类和有效利用提供参考。

**关键词:** 丝瓜; 变异系数; 多样性信息指数; 聚类分析; 主成分分析; 相关性分析

中图分类号: S642.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)12-044-10

## Genetic diversity analysis of local luffa resources in Hubei province

LI Qingke<sup>1,2,3</sup>, YI Licong<sup>2,3</sup>, WANG Yunqiang<sup>2,3</sup>, ZHOU Wei<sup>2,3</sup>, WU Na<sup>2,3</sup>, XU Jinsong<sup>1</sup>, DAI Zhaoyi<sup>2,3</sup>

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434000, Hubei, China; 2. Hubei Key Laboratory of Vegetable Germplasm Enhancement and Genetic Improvement, Wuhan 430064, Hubei, China; 3. Institute of Economic Crops, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, Hubei, China)

**Abstract:** In order to preliminarily identify the local resources of luffa in Hubei province, genetic diversity analysis was conducted on 34 phenotypic traits of 46 luffa germplasm resources collected from Hubei province. The average coefficient of variation of quantitative traits was 20.69%, with the largest coefficient of variation for fruit length (35.41%) and the smallest coefficient of variation for the number of edges (12.10%). The average coefficient of variation of quality traits was 31.66%, with the largest coefficient of variation for fruit stripe color (65.78%) and the smallest coefficient of variation for leaf margin (6.90%). The average diversity information indices of quantitative and qualitative traits were 1.829 and 0.686, respectively. Correlation analysis showed that there was a significant or extremely significant correlation between some traits. There was extremely significant positive correlation between blade length, blade width and cotyledon width. The thickness of the main vine was significantly positively correlated with the blade length and blade width, and the flesh thickness was significantly positively correlated with the fruit transverse diameter. Cluster analysis and principal component analysis were performed on 46 luffa germplasm resources using DPS data processing system. The results showed that the 46 luffa germplasms could be clustered into three categories at the European distance of 124.6. Through principal component analysis of 34 traits, the result showed that the cumulative contribution rate of the top 10 principal components with characteristic value greater than 1 was 80.04%. The findings of this study can provide a reference for the classification and effective utilization of local luffa resources in Hubei province.

**Key words:** Luffa; Coefficient of variation; Diversity information index; Cluster analysis; Principal component analysis; Correlation analysis

收稿日期: 2024-07-17; 修回日期: 2024-09-12

基金项目: 湖北省农业科技创新中心创新团队项目(2024-620-000-001-01); 湖北省农业种质资源保护利用课题(HBZY2023A001)

作者简介: 李庆珂, 女, 在读硕士研究生, 主要从事瓜类作物资源鉴定和品质性状研究。E-mail: 1851053821@qq.com

通信作者: 戴照义, 男, 研究员, 主要从事西甜瓜品种选育、栽培技术研究和推广工作。E-mail: daizhaoyi01@163.com

徐劲松, 男, 副教授, 主要从事油菜遗传育种研究工作。E-mail: xujinsong@yangtzeu.edu.cn

丝瓜又名天罗、天罗瓜、线瓜、天吊瓜、布瓜等,是葫芦科丝瓜属一年生攀援草本植物。原产于东印度,自宋明引入我国,在我国南北方普遍种植<sup>[1]</sup>。丝瓜嫩瓜富含多种营养成分和活性化学物质,食之味甘适口,具有止咳化痰、活血通络,利尿消肿、抗炎镇痛等作用<sup>[2-3]</sup>。

植物种质遗传多样性研究对资源引选、亲本选配、杂种优势利用及品种改良具有重要意义<sup>[4]</sup>。目前,许多学者使用分子标记技术对丝瓜种质资源的遗传多样性进行评价,夏军辉<sup>[5]</sup>采用形态学标记和 RAPD 标记相结合的方法,对 26 份丝瓜种质资源的遗传多样性进行了研究,发现 26 份丝瓜材料存在着丰富的遗传多样性。苏小俊等<sup>[6]</sup>利用 9 对 ISSR 分子标记对来源于不同地区的 43 份丝瓜种质资源的亲缘关系进行了分析,遗传相似系数分布在 0.37~0.98。叶新如<sup>[7]</sup>以 60 份丝瓜自交系为试验材料,利用 SRAP 和 ISSR 分子标记技术进行聚类分析,将 60 份丝瓜分为普通丝瓜和有棱丝瓜两类,这与田间调查的结果有高度的一致性。乔舒婷等<sup>[8]</sup>利用 14 对 SSR 引物对 83 份丝瓜种质资源进行扩增,将 83 份丝瓜种质聚为有棱丝瓜和普通丝瓜两类。刘军等<sup>[9]</sup>利用 SSR 和 SRAP 标记对 30 份丝瓜种质资源进行遗传多样性分析,平均遗传相似系数为 0.761。虽然分子标记技术在遗传多样性研究方面的应用已经相对普及,但形态学观察仍是种质资源遗传多样性研究中最常用的方法,相较于细胞学、生化标记法和分子标记方法等具有经济、直观、易操作等优点<sup>[10]</sup>。

前人根据丝瓜棱的有无将丝瓜粗略分为有棱丝瓜和普通丝瓜两大类,这种分类方法包含的性状较少,对于丝瓜种质资源的鉴定不够准确,不利于丝瓜种质资源的有效利用。笔者对 46 份湖北省地方丝瓜资源的 34 个典型生物学性状(包括 21 个质量性状和 13 个数量性状)进行了精准评价。通过多样性分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析将其划分为 3 个类群,为湖北省地方丝瓜种质资源的分类和挖掘利用奠定了基础。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

46 份丝瓜种质资源为湖北省农业科学院经济作物研究所瓜类课题组收集和保存,详见表 1。

### 1.2 方 法

试验材料于 2018 年春季种植于湖北省农科院

蔬菜种植基地。采取露地搭架种植,每个材料种植 24 株,每厢种植 2 行,行距 1 m,株距 40 cm,搭架栽培,田间常规管理。

### 1.3 观 测 项 目 及 记 录

共调查 34 个表型性状,其中质量性状 21 个,分别为主蔓色、叶色、叶形、叶缘、叶片尖端形状、叶柄着生角度、结瓜习性、瓜棱、瓜形、近瓜蒂端形状、瓜顶形状、瓜皮色、近瓜蒂端颜色、瓜斑纹类型、瓜斑纹色、瓜面光泽、瓜面特征、瓜瘤稀密、瓜肉色、肉质、瓜色均匀度;数量性状 13 个,分别为子叶长、子叶宽、主蔓节间长、主蔓粗、叶片长、叶片宽、叶柄长、花梗长、第一雌花节位、棱数、瓜长、瓜横径、瓜肉厚。所有性状均选取 3 株长势均匀有代表性的丝瓜植株进行调查。子叶相关性状于播种后 7 d 调查;真叶叶片和茎蔓性状在定植后 50 d 进行测量,每株测量 2 片叶片和 2 个节间,选取植株中部 20~25 节之间进行叶片和主蔓性状测量;每株测量 2 个果实,选取植株中部授粉后 10 d 的果实。除主蔓粗用游标卡尺测量外,其余长度均用直尺测量。除花梗长(43 份)、第一雌花节位(43 份)、结瓜习性(44 份)、瓜长(45 份)、瓜横径(45 份)、瓜肉厚(45 份)、肉质(44 份)、瓜色均匀度(44 份)个别样品性状值缺失,其他性状调查样本量均为 46 份。

数量性状取其平均值,质量性状采取目测方法,并按照表 2 进行赋值,数量性状用直尺和游标卡尺测量。性状描述参照国家农作物种质资源平台国家作物科学数据中心《丝瓜种质资源描述规范》(<https://www.cgris.net>)。

### 1.4 数 据 分 析

质量性状等级按照标准进行赋值计算,参照高建立等<sup>[11]</sup>的方法,数量性状等级划分根据平均值( $X$ )和标准差( $\delta$ )分为 10 级,1 级 $<X-2\delta$ ,10 级 $\geq X+2\delta$ 。中间每级相差  $0.5\delta$ 。各性状的遗传多样性采用 Shannon's 信息指数( $H'$ )进行评价, $H'=-\sum P_i \ln P_i$ , $P_i$ 表示第  $i$  种变异类型的出现频率,用相应的各个性状  $H'$  的平均值表示一组数据或所有种质的遗传多样性程度。使用 Microsoft Excel 2021 计算各性状的最大值、最小值、平均值、极差和变异系数;使用 Origin 2021 绘制相关性热图;使用 DPS 标准版 9.50 数据处理系统进行聚类分析及主成分分析。

## 2 结 果 与 分 析

### 2.1 丝 瓜 质 量 性 状 的 分 布 频 率 及 变 异 系 数

丝瓜 21 个质量性状的频率分布及变异系数的

表1 46份丝瓜种质资源来源  
Table 1 Sources of 46 luffa germplasm resources

资源编号 Resource code	来源 Origin	当地名称 Local name	资源编号 Resoure code	来源 Origin	当地名称 Local name
2015421004	湖北通山 Tongshan, Hubei	丝瓜 Luffa	2016422511	湖北武穴 Wuxue, Hubei	丝瓜 Luffa
2015421020	湖北通山 Tongshan, Hubei	丝瓜 Luffa	2016422555	湖北蕲春 Qichun, Hubei	丝瓜 Luffa
2015421045	湖北通山 Tongshan, Hubei	丝瓜络 Loofah	2016423016	湖北红安 Hong'an, Hubei	丝瓜 Luffa
2015421166	湖北咸丰 Xianfeng, Hubei	丝瓜 Luffa	2016423024	湖北红安 Hong'an, Hubei	丝瓜 Luffa
2015421177	湖北咸丰 Xianfeng, Hubei	长丝瓜 Chang luffa	2016423062	湖北红安 Hong'an, Hubei	丝瓜 Luffa
2015421244	湖北通城 Tongcheng, Hubei	土丝瓜 Tu luffa	2016423088	湖北红安 Hong'an, Hubei	丝瓜 Luffa
2015421268	湖北通城 Tongcheng, Hubei	丝瓜 Luffa	2016423250	湖北麻城 Macheng, Hubei	丝瓜 Luffa
2015421323	湖北通城 Tongcheng, Hubei	丝瓜 Luffa	2016423269	湖北麻城 Macheng, Hubei	丝瓜 Luffa
2015422125	湖北郧西 Yunxi, Hubei	丝瓜 Luffa	2017421072	湖北黄梅 Huangmei, Hubei	丝瓜 Luffa
2015422269	湖北南漳 Nanzhang, Hubei	丝瓜 Luffa	2017421104	湖北黄梅 Huangmei, Hubei	榔锤丝瓜 Langchui luffa
2015422284	湖北南漳 Nanzhang, Hubei	丝瓜 Luffa	2017421222	湖北广水 Guangshui, Hubei	丝瓜 Luffa
2016421206	湖北远安 Yuan'an, Hubei	六棱丝瓜 Six-edged luffa	2017422013	湖北英山 Yingshan, Hubei	丝瓜 Luffa
2016421260	湖北远安 Yuan'an, Hubei	丝瓜 Luffa	2017422024	湖北英山 Yingshan, Hubei	丝瓜 Luffa
2016421398	湖北松滋 Songzi, Hubei	丝瓜 Luffa	2017422247	湖北大悟 Dawu, Hubei	丝瓜 Luffa
2016421425	湖北松滋 Songzi, Hubei	丝瓜 Luffa	2017422321	湖北大悟 Dawu, Hubei	丝瓜 Luffa
2016421429	湖北松滋 Songzi, Hubei	土丝瓜 Tu luffa	2017423017	湖北罗田 Luotian, Hubei	丝瓜 Luffa
2016421485	湖北钟祥 Zhongxiang, Hubei	丝瓜 Luffa	2017423058	湖北罗田 Luotian, Hubei	丝瓜 Luffa
2016421494	湖北钟祥 Zhongxiang, Hubei	丝瓜 Luffa	2017423059	湖北罗田 Luotian, Hubei	丝瓜 Luffa
2016422247	湖北房县 Fangxian, Hubei	丝瓜 Luffa	P2015421023	湖北团风 Tuanfeng, Hubei	棒头丝瓜 Bangtou luffa
2016422279	湖北房县 Fangxian, Hubei	丝瓜 Luffa	P420323007	湖北竹山 Zhushan, Hubei	棱瓜 Lenggua
2016422394	湖北谷城 Gucheng, Hubei	丝瓜 Luffa	P421123022	湖北罗田 Luotian, Hubei	丝瓜 Luffa
2016422487	湖北谷城 Gucheng, Hubei	丝瓜 Luffa	P421124066	湖北英山 Yingshan, Hubei	丝瓜 Luffa
2016422509	湖北武穴 Wuxue, Hubei	丝瓜 Luffa	P421221009	湖北嘉鱼 Jiayu, Hubei	白籽丝瓜 White-seeded luffa

统计结果见表3,瓜色均匀度优和瓜色均匀度中占79.55%(瓜色均匀度优和中分别占29.55%和50.00%),叶色主要是绿(41.30%)和深绿(54.35%),

叶形掌状浅裂占52.17%,掌状深裂占47.83%,叶片尖端形状以尖(26.09%)和钝尖(60.87%)为主,73.91%的近瓜蒂端形状为溜肩形。瓜顶形状渐尖

表2 丝瓜质量性状描述分级  
Table 2 Description and grading of quality traits of luffa

性状 Trait	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
主蔓色 Primary color		浅绿 Light green	黄绿 Yellow green	绿 Green						
叶色 Leaf color		浅绿 Light green	黄绿 Yellow green	绿 Green	深绿 Dark green					
叶形 Leaf shape		心脏形 Heart-shaped	掌状浅裂 Palmate shallow crack	掌状深裂 Palmate deep crack						
叶缘 Leaf margin		全缘 Full edge	波状 Wavy	锯齿 Jagged						
叶片尖端形状 Blade tip shape		锐尖 Sharp	尖 Pointed	钝尖 Blunt-pointed						
叶柄着生角度 Petiole angle		直立 Stand erect	半直立 Semi-erect	平展 Patulous						
结瓜习性 Fruit habit		主蔓 Main vine	侧蔓 Lateral vine	主/侧蔓 Main/Lateral vine						
瓜棱 Fruit edge	无棱 Without edge	微棱 Tiny edge	浅棱 Shallow edge	深棱 Deep edge						
瓜形 Melon shape		长棍棒形 Long club-shaped	短棍棒形 Short club-shaped	长圆筒形 Long cylinder-shaped	短圆筒形 Short cylinder-shaped	椭圆形 Ellipse	纺锤形 Spindle-shaped	镰刀形 Sickle-shaped	束腰形 Waist-shaped	蛇形 Snake-shaped
近瓜蒂端形状 Shape of fruit end		瓶颈形 Bottleneck shape	溜肩形 Shoulder shape	钝圆形 Blunt round						
瓜顶形状 Shape of fruit top		渐尖 Gradually acute	短钝尖 Short blunt acute	钝圆 Blunt round						
瓜皮色 Fruit skin color		白 White	黄白 Yellow white	黄绿 Yellow green	浅绿 Light green	绿 Green	深绿 Dark green			
近瓜蒂端颜色 Fruit end color		白 White	黄白 Yellow white	黄绿 Yellow green	浅绿 Light green	绿 Green	深绿 Dark green			
瓜斑纹类型 Fruit stripe type	无 None	点 Dot	条 Strip	块 Block	网 Mesh					
瓜斑纹色 Fruit stripe color	无 None	白 White	黄白 Yellow white	黄绿 Yellow green	浅绿 Light green	绿 Green	深绿 Dark green	黑 Dark		
瓜面光泽 Fruit surface glossy		灰暗 Gloomy	较光亮 Slight glossy	光亮 Glossy						
瓜面特征 Fruit surface characteristic		平滑 Smooth	微皱 Slight wrinkled	粗糙 Rough						
瓜瘤稀密 Density of fruit tumor	无 None	稀 Sparse	中 Medium	密 Dense						
瓜肉色 Fruit flesh color		白 White	白绿 White green	黄绿 Yellow green	浅绿 Light green					
肉质 Fruit flesh quality		致密 Dense	中 Medium	松软 Soft						
瓜色均匀度 Fruit color uniformity		优 Excellent	良 Good	中 Medium	差 Bad					

表3 丝瓜质量性状分布频率及变异系数

Table 3 Distribution frequency and coefficient of variation of luffa quality traits

性状 Trait	频率 Frequency/%										变异系数 CV/%	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
主蔓色 Primary color		0.00	8.70	91.30								9.67
叶色 Leaf color		0.00	4.35	41.30	54.35							16.59
叶形 Leaf shape		0.00	52.17	47.83								20.16
叶缘 Leaf margin		0.00	4.35	95.65								6.90
叶片尖端形状 Blade tip shape		13.04	26.09	60.87								28.83
叶柄着生角度 Petiole angle		54.35	45.65	0.00								34.20
结瓜习性 Fruit habit		79.55	4.55	15.91								54.37
瓜棱 Fruit edge	0.00	10.87	84.78	4.35								19.88
瓜形 Melon shape		24.56	35.09	7.02	22.81	0.00	5.26	3.51	1.75	0.00		65.30
近瓜蒂端形状 Shape of fruit end		8.70	73.91	17.39								24.12
瓜顶形状 Shape of fruit top		69.57	15.22	15.22								51.03
瓜皮色 Fruit skin color		0.00	0.00	15.22	63.04	19.57	2.17					15.99
近瓜蒂端颜色 Fruit end color		0.00	0.00	15.22	67.39	13.04	4.35					16.54
瓜斑纹类型 Fruit stripe type	4.35	93.48	0.00	0.00	2.17							47.81
瓜斑纹色 Fruit stripe color	4.35	67.39	2.17	21.74	4.35	0.00	0.00	0.00				65.78
瓜面光泽 Fruit surface glossy		71.74	28.26	0.00								35.11
瓜面特征 Fruit surface character		2.17	93.48	4.35								12.59
瓜瘤稀密 Density of fruit tumor	0.00	78.26	17.39	4.35								54.18
瓜肉色 Fruit flesh color		71.74	28.26	0.00	0.00							35.11
肉质 Fruit flesh quality		2.27	2.27	95.45								11.26
瓜色均匀度 Fruit color uniformity		29.55	20.45	50.00	0.00							39.38

占 69.57%，瓜皮颜色主要是浅绿色(63.04%)，瓜斑纹色以白色(67.39%)和黄绿色(21.74%)为主。瓜形以短棍棒形(35.09%)、长棍棒(24.56%)、短圆筒形(22.81%)为主，71.74%瓜面光泽为灰暗，瓜面特征微皱占 93.48%，瓜肉的颜色以白色(71.74%)为主，松软肉质占 95.45%。

21 个质量性状中结瓜习性(54.37%)、瓜顶形状

(51.03%)、瓜形(65.30%)、瓜斑纹色(65.78%)、瓜瘤稀密(54.18%)的变异系数超过了 50%，表明这几个质量性状存在着丰富的变异；其他性状的变异系数均不超过 50%，表明这些性状的遗传多样性相对较低，可能受样本数量和来源的影响。

## 2.2 丝瓜种质资源数量性状的变异系数

丝瓜 13 个数量性状的变异统计如表 4 所示，

表4 丝瓜数量性状分布及变异系数

Table 4 Distribution of quantitative traits and coefficient of variation of luffa

性状 Trait	平均值 Mean	标准差 SD	最大值 Max value	最小值 Min value	极差 Range	变异系数 CV/%
子叶长 Cotyledon length/cm	5.42	0.89	7.80	2.70	5.10	16.36
子叶宽 Cotyledon width/cm	2.80	0.52	5.17	1.80	3.37	18.44
主蔓节间长 Internode length of main vine/cm	19.32	3.85	26.33	10.03	16.30	19.93
主蔓粗 Main vine thickness/cm	0.53	0.07	0.80	0.45	0.35	12.76
叶片长 Blade length/cm	19.19	2.40	25.10	14.77	10.33	12.50
叶片宽 Blade width/cm	22.83	3.38	32.10	17.67	14.43	14.80
叶柄长 Petiole length/cm	14.95	3.52	25.20	8.73	16.47	23.57
花梗长 Peduncle length/cm	12.59	3.81	22.03	5.40	16.63	30.27
第一雌花节位 Frist female flower node position	15.17	4.54	26.00	5.00	21.00	29.94
棱数 Edges number	10.26	1.24	18.00	9.00	9.00	12.10
瓜长 Fruit length/cm	33.21	11.76	63.05	12.30	50.75	35.41
瓜横径 Fruit transverse diameter/cm	5.25	0.88	7.50	3.70	3.80	16.68
瓜肉厚 Flesh thickness/cm	1.09	0.29	1.80	0.60	1.20	26.16

花梗长、瓜长这2个数量性状的变异系数超过了30%,其中瓜长的变异系数最大,为35.41%,其次是花梗长,为30.27%,表明这2个性状存在着丰富的变异;其他性状变异系数不超过30%。

### 2.3 丝瓜种质资源性状表型的多样性分析

对46份丝瓜种质资源的34个表型性状进行分析,结果表明,丝瓜种质的表型性状表现出了丰富的多样性。21个质量性状的平均多样性信息指

数为0.686,其中瓜形的多样性信息指数最高,为1.579,此外,瓜色均匀度的多样性信息指数也大于1;叶缘的多样性信息指数最低,为0.179。

丝瓜种质资源数量性状的多样性信息指数变化范围为0.489~2.040,多样性信息指数最高的是瓜长2.040,最低的是棱数0.489,平均值为1.829,普遍高于丝瓜种质质量性状的多样性信息指数,说明丝瓜数量性状的多样性更丰富,详见表5。

表5 丝瓜质量性状和数量性状的多样性信息指数

Table 5 Diversity information index of qualitative and quantitative traits of luffa

质量性状 Qualitative trait	多样性信息指数 $H'$ Diversity index	数量性状 Quantitative trait	多样性信息指数 $H'$ Diversity index
主蔓色 Primary color	0.295	子叶长 Cotyledon length	1.898
叶色 Leaf color	0.833	子叶宽 Cotyledon width	1.758
叶形 Leaf shape	0.692	主蔓节间长 Internode length of main vine	2.034
叶缘 Leaf margin	0.179	主蔓粗 Main vine thickness	1.668
叶片尖端形状 Blade tip shape	0.918	叶片长 Blade length	1.957
叶柄着生角度 Petiole angle	0.689	叶片宽 Blade width	1.941
结瓜习性 Fruit habit	0.615	叶柄长 Petiole length	1.978
瓜棱 Fruit edge	0.518	花梗长 Peduncle length	2.001
瓜形 Melon shape	1.579	第一雌花节位 Frist female flower node position	1.991
近瓜蒂端形状 Shape of fruit end	0.740	棱数 Edges number	0.489
瓜顶形状 Shape of fruit top	0.825	瓜长 Fruit length	2.040
瓜皮色 Fruit skin color	0.980	瓜横径 Fruit transverse diameter	2.020
近瓜蒂端颜色 Fruit end color	0.954	瓜肉厚 Flesh thickness	2.007
瓜斑纹类型 Fruit stripe type	0.283		
瓜斑纹色 Fruit stripe color	0.954		
瓜面光泽 Fruit surface glossy	0.595		
瓜面特征 Fruit surface character	0.283		
瓜瘤稀密 Density of fruit tumor	0.632		
瓜肉色 Fruit flesh color	0.595		
肉质 Fruit flesh quality	0.216		
瓜色均匀度 Fruit color uniformity	1.031		

### 2.4 丝瓜种质资源相关性分析

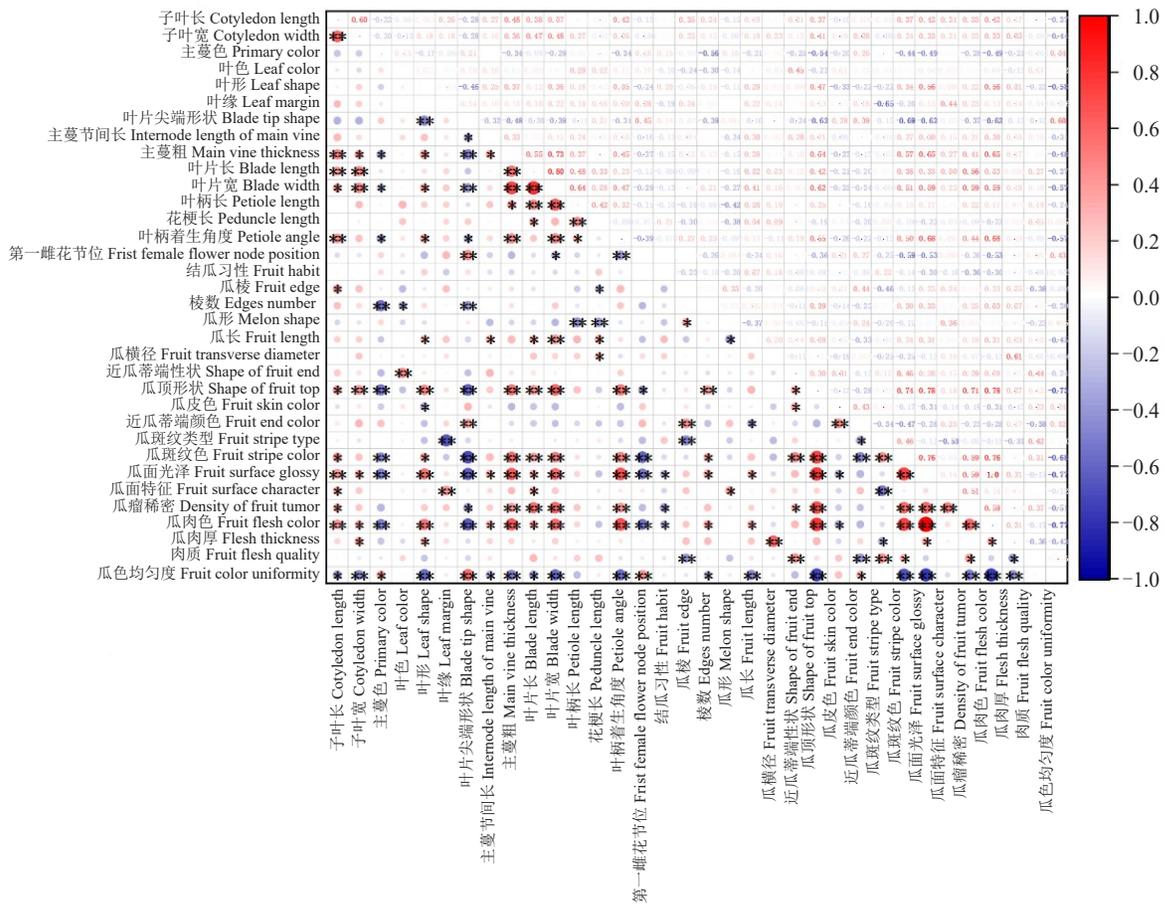
对湖北本地46份丝瓜种质资源的34个表型性状进行相关性分析,由图1可知,叶片长与叶片宽、子叶宽相互之间呈极显著正相关,相关系数分别为叶片长与叶片宽0.80,叶片长与子叶宽0.47,叶片宽与子叶宽0.48;叶片长与叶柄长、主蔓粗呈极显著正相关,相关系数为0.48、0.55,叶片长与花梗长、瓜长呈显著正相关,相关系数分别为0.33、0.32;叶片宽与主蔓粗、瓜长呈极显著正相关,相关系数分别为0.73、0.41,与子叶长、叶形呈显著正相关,相关系数分别为0.37、0.36,与叶片尖端形状、瓜色均匀度呈极显著负相关,相关系数为-0.39、-0.57;瓜形与叶柄长、花梗长呈极显著负

相关,相关系数分别为-0.42、-0.38,与瓜长呈显著负相关,相关系数为-0.37;瓜长与叶形、主蔓节间长、花梗长呈显著正相关,相关系数为0.29、0.30、0.34;瓜肉厚与瓜横径呈极显著正相关,相关系数为0.61,与子叶宽、叶形、瓜面光泽、瓜肉色呈显著正相关,相关系数分别为0.35、0.31、0.31、0.31。

### 2.5 丝瓜种质资源的聚类分析

利用46份丝瓜种质资源的34个表型性状数据,使用DPS软件对各数据进行标准化处理,采用欧式距离、离差平方和进行聚类分析。若以欧式距离124.6为界,则可将46份丝瓜种质材料分为三大类,见图2。

第I类包含15份材料,这类丝瓜的瓜形多为短



注:\*,\*\*分别表示在 0.05 水平显著相关和 0.01 水平极显著相关。

Note: \* represented significant correlation at 0.05 level, and \*\* represented extremely significant correlation at 0.01 level.

图 1 丝瓜表型性状相关性热图

Fig. 1 Heat map of the correlation of phenotypic traits in luffa

圆筒形,结瓜习性多为主蔓结瓜。在遗传距离 72.8 处可将第I类材料再划分为I-1、I-2 两类,I-1 包括 10 份材料,这些丝瓜均表现为主蔓结瓜、瓜斑纹为点状、肉质松软,瓜形多为短圆筒。

I-2 包括 5 份材料,2015422125、2017421072 被聚在一起,均表现为瓜棱为浅棱、瓜皮色为浅绿色、瓜斑纹为点状、瓜瘤密度中。2 份有棱丝瓜 2016421206 和 P420323007 被聚在一起,均表现为叶色为绿色、瓜棱为深棱、瓜形为纺锤形、瓜顶形状渐尖、瓜面微皱。2016421485 与 2 份有棱丝瓜亲缘关系最近,其瓜棱为浅棱、瓜形为纺锤形、瓜顶形状渐尖、瓜皮色为浅绿色、瓜肉色为白色。

第II类包含 10 份材料,表现为叶缘为锯齿状、瓜斑纹为点状、瓜面微皱、肉质松软;瓜形多为长棍棒形。这一类的主蔓节间长、叶片长、叶片宽、叶柄长、花梗长、瓜长的平均性状值明显高于其他两类;而第一雌花节位的平均性状值明显低于其他两类,见表 6。

第III类包含 21 份材料,这一类丝瓜的瓜形多为短棍棒形、瓜瘤分布稀、瓜肉多为白色。

### 2.6 丝瓜种质资源的主成分分析

通过对 46 份丝瓜种质资源 34 个表型性状的计算,得到了因子载荷矩阵,提取特征值大于 1 的前 10 个主成分,累积贡献率达到了 80.04%。由表 7 可知,第 1 主成分的贡献率为 26.90%,第 2 主成分的贡献率为 11.06%,第 3 主成分的贡献率为 9.10%,第 4~第 10 主成分贡献率在 3.09%~7.32%。

主成分 1 的贡献率最高,特征值为 9.15,载荷最大的是瓜面光泽和瓜肉色,值均为 0.30;其次是瓜顶形状,值为 0.29,可概括为果实因子。主成分 2 的特征值为 3.76,载荷最大的是瓜斑纹类型的绝对值,值为-0.41,为负向载荷;其次是瓜棱,值为 0.37,可概括为果实外观特征因子。在育种工作中,可根据第 1 和第 2 主成分选取外观性状好的品种。第 3 主成分的特征值为 3.10,载荷最大的为花梗长,其次是叶柄长,值为 0.40 和 0.36;载荷值较大的还有

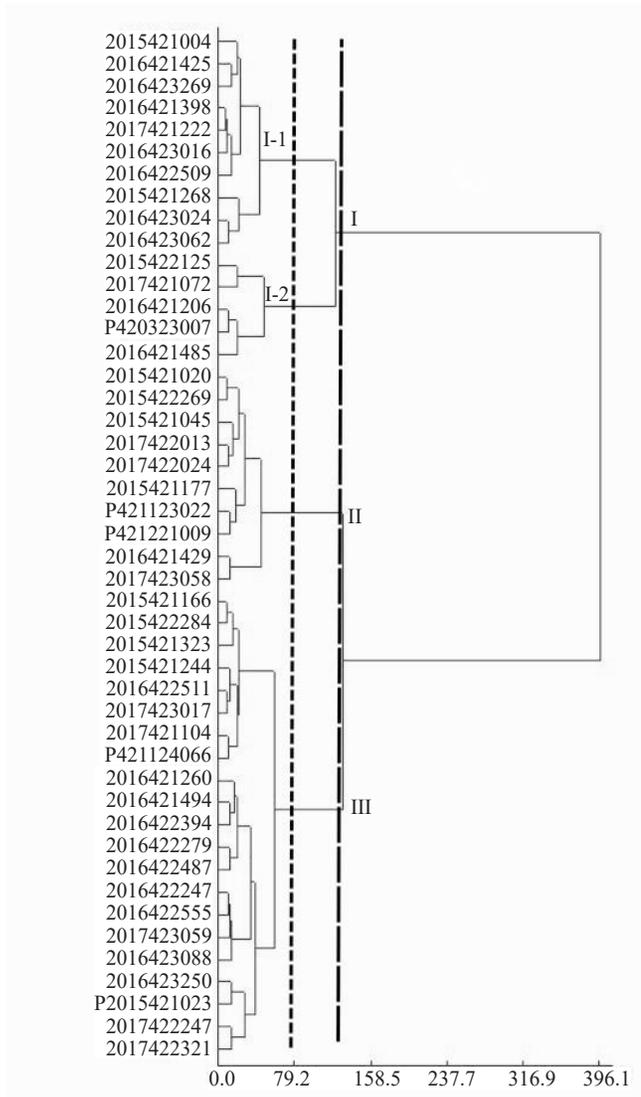


图2 丝瓜资源聚类树状图

Fig. 2 Cluster tree diagram of luffa resources

叶片长,主要反映了叶片状况,此部分可概括为叶片因子。

### 3 讨论与结论

研究种质资源的遗传多样性对了解和掌握品种资源多样性水平,以及对有益资源挖掘利用和种质创新等具有重要意义<sup>[12]</sup>。

传统的分类方法将丝瓜品种分为有棱丝瓜和普通丝瓜两类,这种分类方式是根据商品瓜表面棱深浅程度划分,可以给普通种植者和消费者提供直观的印象。然而,对于种质资源的精准鉴定而言,这种分类方式所包含的性状信息太少,无法全面描述一份资源的性状特征,不利于种质资源的挖掘利用。笔者根据国家农作物种质资源平台国家作物科学数据中心《丝瓜种质资源描述规范》,对46份

表6 各类丝瓜资源平均性状值  
Table 6 Average trait values of various types of luffa resources

性状 Trait	第I类 Cluster I	第II类 Cluster II	第III类 Cluster III
子叶长 Cotyledon length/cm	5.35	5.88	5.25
子叶宽 Cotyledon width/cm	2.76	2.97	2.74
主蔓色 Primary color	2.93	2.80	2.95
叶色 Leaf color	3.33	3.80	3.48
叶形 Leaf shape	2.40	2.70	2.43
叶缘 Leaf margin	2.93	3.00	2.95
叶片尖端形状 Blade tip shape	2.47	2.30	2.57
主蔓节间长 Internode length of main vine/cm	17.88	20.91	19.58
主蔓粗 Main vine thickness/cm	0.53	0.56	0.52
叶片长 Blade length/cm	18.70	20.43	18.95
叶片宽 Blade width/cm	21.81	25.35	22.35
叶柄长 Petiole length/cm	13.11	17.43	15.07
花梗长 Peduncle length/cm	10.89	15.42	12.51
叶柄着生角度 Petiole angle	1.40	1.70	1.38
第一雌花节位 Frist female flower node position	15.69	14.00	15.35
结瓜习性 Fruit habit	1.07	1.60	1.47
瓜棱 Fruit edge	2.07	1.90	1.86
棱数 Edges number	10.53	10.40	10.00
瓜形 Melon shape	4.80	1.58	2.23
瓜长 Fruit length/cm	26.09	48.59	30.87
瓜横径 Fruit transverse diameter/cm	5.34	5.23	5.19
近瓜蒂端形状 Shape of fruit end	2.00	2.30	2.05
瓜顶形状 Shape of fruit top	1.33	1.80	1.38
瓜皮色 Fruit skin color	4.00	4.30	4.05
近瓜蒂端颜色 Fruit end color	4.27	3.90	4.00
瓜斑纹类型 Fruit stripe type	0.93	1.00	1.10
瓜斑纹色 Fruit stripe color	1.40	1.90	1.48
瓜面光泽 Fruit surface glossy	1.27	1.50	1.19
瓜面特征 Fruit surface character	2.13	2.00	1.95
瓜瘤稀密 Density of fruit tumor	1.27	1.40	1.00
瓜肉色 Fruit flesh color	1.27	1.50	1.19
瓜肉厚 Flesh thickness /cm	1.11	1.16	1.04
肉质 Fruit flesh quality	2.86	3.00	2.95
瓜色均匀度 Fruit color uniformity	2.43	1.70	2.30

湖北省地方丝瓜资源的34个生物学性状进行了鉴定,通过聚类分析对这些资源进行分类,并利用主成分分析确定每个类别的特征性状,为丝瓜的育种和改良提供理论指导。

变异系数可以直接反映遗传多样性水平,它表明了某一性状的离散程度,变异系数越大,该性状的变异程度越丰富<sup>[13]</sup>。笔者利用来自湖北本地的46份丝瓜种质资源进行表型鉴定,数量性状变异系

表7 表型性状的主成分分析(特征向量、特征值、贡献率)

Table 7 Principal component analysis of phenotypic traits (eigenvectors, eigenvalues, contribution rate)

性状 Trait	主成分 Principal component									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
子叶长 Cotyledon length	0.18	0.13	0.05	0.11	0.26	-0.04	0.26	0.09	0.35	-0.18
子叶宽 Cotyledon width	0.16	0.16	0.13	0.01	0.35	-0.04	0.30	0.10	-0.08	0.12
主蔓色 Primary color	-0.16	0.02	0.10	-0.02	-0.32	0.13	0.38	0.23	0.01	-0.13
叶色 Leaf color	-0.01	-0.11	0.18	0.23	-0.17	0.44	-0.08	-0.05	-0.13	0.16
叶形 Leaf shape	0.18	0.02	-0.02	-0.24	-0.16	0.30	-0.10	0.09	0.04	0.19
叶缘 Leaf margin	0.05	0.27	0.24	0.14	-0.04	-0.04	-0.25	-0.17	0.30	-0.11
叶片尖端形状 Blade tip shape	-0.23	0.08	0.16	0.05	0.02	-0.02	-0.04	-0.21	0.14	0.23
主蔓节间长 Internode length of main vine	0.12	0.00	0.07	0.06	0.02	0.38	0.03	0.14	-0.04	-0.63
主蔓粗 Main vine thickness	0.24	0.03	0.07	0.03	-0.06	-0.02	0.23	-0.08	-0.02	-0.07
叶片长 Blade length	0.19	-0.03	0.30	0.09	-0.09	-0.27	0.21	0.08	-0.07	0.17
叶片宽 Blade width	0.26	-0.01	0.23	-0.01	-0.07	-0.18	0.15	-0.13	-0.10	0.10
叶柄长 Petiole length	0.12	-0.09	0.36	0.00	-0.09	0.06	0.11	-0.30	-0.29	0.01
花梗长 Peduncle length	-0.01	-0.16	0.40	-0.12	0.01	-0.09	-0.09	-0.12	0.04	-0.06
叶柄着生角度 Petiole angle	0.22	0.05	-0.06	0.03	-0.07	0.11	0.04	-0.27	0.16	0.15
第一雌花节位 Frist female flower node position	-0.17	0.14	0.17	0.13	0.07	-0.01	-0.18	0.12	0.00	0.09
结瓜习性 Fruit habit	-0.05	-0.11	0.10	-0.32	0.18	0.11	0.12	0.24	0.47	0.30
瓜棱 Fruit edge	0.04	0.37	-0.13	0.07	0.13	0.02	0.14	-0.11	0.00	-0.11
棱数 Edges number	0.13	0.01	-0.13	-0.15	0.19	-0.33	-0.32	-0.06	0.00	-0.23
瓜形 Melon shape	-0.06	0.24	-0.22	0.10	-0.21	-0.13	-0.04	0.29	-0.12	0.25
瓜长 Fruit length	0.14	-0.09	0.24	-0.17	0.09	0.12	-0.15	0.05	0.28	-0.07
瓜横径 Fruit transverse diameter	0.01	0.14	0.29	-0.27	0.05	-0.08	-0.14	0.33	-0.31	-0.01
近瓜蒂端形状 Shape of fruit end	0.10	-0.13	0.02	0.35	0.17	0.31	-0.20	0.25	-0.01	0.15
瓜顶形状 Shape of fruit top	0.29	0.01	-0.07	0.03	0.09	-0.08	-0.09	0.04	-0.01	0.12
瓜皮色 Fruit skin color	-0.10	-0.01	0.03	0.28	0.48	0.12	-0.07	-0.15	-0.13	0.19
近瓜蒂端颜色 Fruit end color	-0.12	0.33	0.03	0.12	0.22	0.12	0.26	-0.02	-0.13	0.02
瓜斑纹类型 Fruit stripe type	-0.01	-0.41	-0.13	0.00	0.18	-0.09	0.25	0.15	-0.10	0.01
瓜斑纹色 Fruit stripe color	0.27	-0.21	-0.17	0.09	0.05	-0.01	0.06	0.09	-0.04	0.02
瓜面光泽 Fruit surface glossy	0.30	0.06	-0.16	-0.01	-0.07	0.10	-0.04	-0.10	-0.02	0.04
瓜面特征 Fruit surface character	0.08	0.27	0.13	0.24	-0.20	-0.08	-0.05	0.31	0.20	0.01
瓜瘤稀密 Density of fruit tumor	0.23	0.01	0.01	0.27	-0.17	-0.21	-0.09	0.12	0.02	0.04
瓜肉色 Fruit flesh color	0.30	0.06	-0.16	-0.01	-0.07	0.10	-0.04	-0.10	-0.02	0.04
瓜肉厚 Flesh thickness	0.10	0.24	0.09	-0.30	0.18	0.09	-0.19	0.16	-0.34	0.00
肉质 Fruit flesh quality	0.03	-0.31	0.14	0.33	0.08	-0.18	-0.14	0.21	-0.02	-0.14
瓜色均匀度 Fruit color uniformity	-0.28	-0.01	0.03	0.13	-0.04	-0.13	0.03	-0.13	-0.01	-0.15
特征值 Eigenvalue	9.15	3.76	3.10	2.49	1.82	1.72	1.52	1.44	1.16	1.05
贡献率 Contributive rate/%	26.90	11.06	9.10	7.32	5.35	5.07	4.48	4.23	3.41	3.09
累积贡献率 Cumulative contributive rate/%	26.90	37.96	47.07	54.39	59.75	64.82	69.30	73.53	76.95	80.04

数最大的为瓜长,其次是花梗长、第一雌花节位、瓜肉厚等,变异系数较小的是棱数、叶片长、叶片宽。质量性状中瓜斑纹色的变异系数最大,其次是瓜形、结瓜习性、瓜瘤稀密、瓜顶形状等。46份丝瓜种质资源数量性状的多样性信息指数普遍高于质量性状,说明丝瓜数量性状的多样性更丰富,这与胡

建斌等<sup>[14]</sup>对甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析中的研究结果一致。

根据34个表型性状的相关性分析表明,瓜长与叶片宽呈极显著正相关,与叶片长、花梗长、主蔓节间长呈显著正相关;瓜肉厚与瓜横径呈极显著正相关,与子叶宽呈显著正相关。在育种过程中,选

择瓜长较长的品种则要求叶片较长和较宽、主蔓节间较长;选择瓜肉较厚的品种则要求瓜横径较大。

根据34个表型性状采用DPS软件对数据进行标准化处理,在欧式距离124.6处,将46份丝瓜种质分为三大类,各类群农艺性状的差距主要表现在主蔓节间长、第一雌花节位、瓜长、瓜形、叶柄长等特征上,该结果与李勇奇等<sup>[15]</sup>的研究结果一致,说明株型、成熟期和果实性状是丝瓜育种的重要目标性状。第II类与第I、第III类相比叶片要宽大、第一雌花节位较低、瓜长较长、瓜肉厚。第II类材料可用于早熟、高产、强生长势品种的选育。在第I类群的基础上又分为两个亚群,I-1类群和I-2类群的第一雌花节位、瓜棱、瓜形、瓜长、瓜皮色、瓜面特征、瓜瘤稀密等性状有明显差异,I-1类群几乎为短圆筒丝瓜,比较明确地与I-2类群区分开来,同时I-2类群中2份纺锤形、有棱丝瓜聚到一起,与同为纺锤形微棱丝瓜(2016421485)的遗传距离较近。与传统分类将丝瓜分为普通丝瓜和有棱丝瓜两类相比,本研究中的聚类分析结果确定不同类别丝瓜的主要特征性状差异包括瓜形、瓜长、主蔓节间长、第一雌花节位等,鉴定和分类结果更为细致准确,对种质资源挖掘利用、创新和品种改良具有重要参考价值。本研究中的聚类结果显示,46份丝瓜种质资源并没有根据不同的来源地做出明显区分,可能与材料少、地方材料遗传背景复杂,地区间引种交流导致的基因渗入有关<sup>[16]</sup>。不同类群丝瓜之间既有相似的性状变异也有其独特的明显区别于其他类型的显著特征,说明在种质资源鉴定和分类时应尽可能利用更多的性状特征值以提高准确性。

34个表型性状的主成分分析表明,前10个主成分累积贡献率达80.04%,这些因子能够客观描述丝瓜种质资源的特征。这些主成分均有相对独立的性状因子,影响力较大的有瓜面光泽、瓜肉色、瓜顶形状、瓜斑纹类型、瓜棱、花梗长、叶柄长、叶片长、近瓜蒂端形状、瓜皮色、叶色、主蔓色、瓜横径、结瓜习性、主蔓节间长15个表型性状,将原本的34个性状简化为15个。这些因子能够客观地描述丝瓜种质资源的特征。

丝瓜育种起步较晚,育种方法主要是常规的杂交育种,品种类型相对较少,同质化程度高,而对丝瓜地方种质资源的精准鉴定与利用较少。随着高产、优质、经济效益高的杂种一代丝瓜的大力推广,

新品种代替了地方品种,忽视了地方品种的资源保护,加快了地方品种的消失<sup>[17]</sup>。笔者根据34个表型性状对46份湖北省地方丝瓜资源进行了初步鉴定和分类,对丝瓜地方资源的挖掘利用和优异种质创制具有重要意义,今后将利用分子标记技术对丝瓜的遗传背景、抗病性、抗逆性等进行鉴定,结合表型性状和分子遗传背景对丝瓜种质资源进行更全面、系统的研究与评价。

### 参考文献

- [1] 郭勤卫,张婷,刘慧琴,等.应用ISSR分子标记评价我国丝瓜种质资源遗传多样性[J].浙江农业学报,2020,32(4):616-623.
- [2] 陈琴,李洋,郭元元,等.丝瓜种质资源遗传多样性研究进展[J/OL].分子植物育种,1-12[2024-09-06].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20230706.0823.002.html>.
- [3] 李佳欣,冯玉.丝瓜不同部位药理作用研究进展[J].食品工业科技,2021,42(10):355-361.
- [4] 史建磊,陈先知,黄宗安,等.华南型黄瓜主要农艺性状遗传多样性评价[J].核农学报,2016,30(10):1914-1924.
- [5] 夏军辉.丝瓜种质资源遗传多样性研究[D].武汉:华中农业大学,2007.
- [6] 苏小俊,徐海,陈龙正,等.丝瓜种质资源亲缘关系的ISSR分析[J].南京农业大学学报,2010,33(3):42-46.
- [7] 叶新如.丝瓜种质资源性状调查及遗传多样性分析[D].福州:福建农林大学,2016.
- [8] 乔舒婷,董文其,许云飞,等.丝瓜种质资源表型鉴定及遗传多样性分析[J/OL].分子植物育种,1-16[2024-09-06].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220427.1533.020.html>.
- [9] 刘军,许美荣,赵志伟,等.丝瓜种质资源遗传多样性的SSR与SRAP分析[J].中国瓜菜,2010,23(2):1-4.
- [10] 吕正鑫,贺艳群,贾东峰,等.猕猴桃种质资源表型性状遗传多样性分析[J].园艺学报,2022,49(7):1571-1581.
- [11] 尚建立,王吉明,郭琳琳,等.西瓜种质资源主要植物学性状的遗传多样性及相关性分析[J].植物遗传资源学报,2012,13(1):11-15.
- [12] 钟海丰,陈剑锋,陈宇华,等.基于DUS测试的丝瓜种质资源形态多样性分析[J].东南园艺,2021,9(6):9-18.
- [13] 卿东山,江鸿,张露瑶,等.甜瓜种质资源形态学性状遗传多样性分析[J].中国蔬菜,2023(4):39-49.
- [14] 胡建斌,马双武,简在海,等.中国甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J].植物遗传资源学报,2013,14(4):612-619.
- [15] 李勇奇,闵子扬,韩小霞,等.82个湖南丝瓜种质资源主要植物学性状分析[J].分子植物育种,2019,17(24):8279-8286.
- [16] 李锡香,朱德蔚,杜永臣,等.黄瓜种质资源遗传多样性的RAPD鉴定与分类研究[J].植物遗传资源学报,2004,5(2):147-152.
- [17] 关峰,张景云,石博,等.江西省瓜类蔬菜种质资源调查与分析[J].中国瓜菜,2019,32(10):26-29.