

# 黄瓜种质资源果实性状遗传多样性分析

王 荣<sup>1,2</sup>, 董邵云<sup>2</sup>, 刘小萍<sup>2</sup>, 官健涛<sup>2</sup>, 苗 晗<sup>2</sup>, 李 森<sup>1</sup>, 张圣平<sup>2</sup>

(1. 山西农业大学园艺学院 山西太谷 030801; 2. 蔬菜生物育种全国重点实验室·  
中国农业科学院蔬菜花卉研究所 北京 100081)

**摘要:**为深入了解黄瓜果实性状的遗传多样性,优化育种策略,对221份种质资源的13个果实农艺性状进行遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析。结果表明,221份黄瓜种质资源的遗传多样性指数平均为1.392,平均变异系数为30.78%。相关性分析表明,除瓜瘤大小外,其他12个性状均有与其关联性较高的性状;主成分分析表明,前4个主成分(PC1~PC4)的累积贡献率为68.82%,包含了黄瓜果实性状的大部分信息。通过表型性状及分子标记分别对种质资源进行聚类分析,结果表明,在欧式距离为0.003时,将221份种质资源的表型性状分为5类,每一类分别包含90、65、9、38、19份种质资源;在欧式距离为1.400时,将221份种质资源采用分子标记分为5类,分别包含了35、70、45、54、17份种质资源。表型数据和分子标记聚类结果对比,发现两者具有一定的吻合度,但仍存在差异。研究结果为优良育种亲本的选配奠定了一定的基础,也为后续工作提供了参考。

**关键词:** 黄瓜; 遗传多样性; 表型性状; 分子标记

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)07-020-09

## Genetic diversity analysis of fruit-related traits in cucumber germplasm resource

WANG Rong<sup>1,2</sup>, DONG Shaoyun<sup>2</sup>, LIU Xiaoping<sup>2</sup>, GUAN Jiantao<sup>2</sup>, MIAO Han<sup>2</sup>, LI Sen<sup>1</sup>, ZHANG Shengping<sup>2</sup>

(1. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China; 2. The State Key Laboratory of Vegetable Bio-breeding/Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To understand the genetic diversity of cucumber fruit traits and optimize breeding strategies, genetic diversity analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were performed for 13 fruit agronomic traits of 221 germplasm resources. The results showed that the average genetic diversity index of 221 cucumber germplasm resources was 1.392, with the average coefficient of variation of 30.78%. Correlation analysis showed that except the size of fruit tumor, the other 12 traits had high correlation. Principal component analysis showed that the cumulative contribution rate of the four principal components (PC1-PC4) was 68.82%, which contained most of the information of cucumber fruit traits. Cluster analysis was conducted on germplasm resources using phenotypic traits and molecular markers. The results showed that the phenotypic traits of 221 germplasm resources were divided into 5 categories when the Euclidean distance was 0.003, and each category contained 90, 65, 9, 38 and 19 germplasm resources, respectively. When the Euclidean distance was 1.400, the molecular markers of 221 germplasm resources were divided into 5 categories, including 35, 70, 45, 54 and 17 germplasm resources, respectively. The comparison between phenotype data and molecular marker clustering results showed that there was a certain degree of agreement between them. The results have laid a foundation for the selection of excellent breeding parents and provided a reference for the subsequent work.

**Key words:** Cucumber; Genetic diversity; Phenotypic characters; Molecular marker

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是重要的葫芦科蔬菜作物,在全球范围内广泛种植。中国是黄瓜生产面积最大、产量最高的国家,占全球总产量的

80.80%<sup>[1-3]</sup>。2016—2020年,我国黄瓜年均播种面积为122.97万hm<sup>2</sup>,产量6623.08万t<sup>[4]</sup>。黄瓜果实性状主要包括瓜形、瓜皮色、瓜长、瓜把长、瓜横径、瓜

收稿日期: 2024-03-25; 修回日期: 2024-05-23

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-23); 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2017-IVF); 农业农村部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目; 蔬菜生物育种全国重点实验室项目

作者简介: 王 荣,女,在读硕士研究生,研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: 2508446009@qq.com

通信作者: 张圣平,男,研究员,研究方向为黄瓜遗传育种。E-mail: zhangshengping@caas.cn

肉厚、瓜心室数、瓜肉色、瓜刺瘤稀密、瓜刺色、瓜瘤大小等。近年来,随着生活水平的提高,人们对黄瓜的果实外观和品质提出了更高的要求,提高黄瓜的果实品质成为黄瓜育种的主要目标之一<sup>[4]</sup>。

种质资源多样性是进行品种选育的前提。目前关于黄瓜种质资源鉴定与评价的报道较多,曹守军等<sup>[5]</sup>对 58 份烟台地方黄瓜种质资源进行鉴定和聚类分析,结果表明,华南型和华北型两大类群的划分与地理分布相吻合;徐强等<sup>[6]</sup>对 19 个加工类型黄瓜品种进行鉴定评价,将 19 个黄瓜品种聚类为短果中等品质、短果优质和长果高产 3 种类型;曹齐卫等<sup>[7]</sup>以山东地方黄瓜品种为研究对象,通过对果实外观进行鉴定,明确其具有丰富的遗传多样性;沈镒等<sup>[8]</sup>对 30 份西双版纳黄瓜种质资源的 18 个农艺性状进行鉴定,表明其形态具有一定的遗传多样性。任思玲等<sup>[9]</sup>对 228 份黄瓜种质资源进行感官评价,结果表明,果实中心腔处涩感显著弱于果皮处。综上可知,多数研究集中在地方黄瓜种质资源方面,对全国收集的种质资源鉴定评价较少。笔者在本文中通过对全国各地黄瓜种质资源的果实性状进行遗传多样性分析,深入了解不同种质资源的亲缘关系,以期为黄瓜育种实践提供理论依据,加快黄瓜新品种选育进程。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

以来自国家蔬菜种质资源库的 221 份黄瓜种质资源为试验材料,该试验材料来自于全国各省份,其中河南 27 份,山东 23 份,吉林 17 份,湖南 14 份,四川 12 份,广东、山西、天津各 11 份,内蒙古、新疆各 9 份,黑龙江、江苏各 7 份,河北 6 份,辽宁 5 份,贵州、湖北、浙江各 4 份,广西、上海、云南各 3 份,安徽、福建、甘肃、江西、宁夏、陕西各 2 份,北京 1 份,未知省份的种质资源有 18 份。

### 1.2 方 法

分别在 2022 年 3 月和 2023 年 3 月进行材料种植。首先分别对 221 个黄瓜品种进行催芽,将种子放于培养皿中用 55 °C 温水浸泡,然后放于 28 °C 恒温培养箱中培养 24 h 左右,待种子发芽率超过 70% 时播种于 32 孔穴盘(54 cm×28 cm×4.5 cm)中,待幼苗 2 叶 1 心时定植于中国农业科学院寿光蔬菜研发中心试验基地的连栋温室中,株距为 30 cm,行距为 60 cm。试验随机区组排列,设置 3 个生物学重复,每个重复 5 株。为减少环境对植株

生长带来的差异,所有供试材料的灌溉、药物防治以及吊蔓等田间管理均保持一致。

### 1.3 农艺性状调查

笔者在黄瓜农艺性状数据调查过程中,选取 13 个与果实相关的农艺性状进行综合评价。在表型性状调查过程中,主要参照《黄瓜种质资源描述规范和数据标准》<sup>[10]</sup>。数据采集在定植 50 d 天左右,在盛果期调查各项性状指标。每个生物学重复调查 5 根长势相似的商品瓜瓜条。采用目测法比对《黄瓜种质资源描述规范和数据标准》,完成瓜皮色、瓜肉色、瓜刺色、瓜刺瘤疏密、瓜形、瓜瘤大小、瓜心室数等性状的评价,使用游标卡尺、软尺、电子秤完成瓜长、瓜横径、瓜把长、心腔直径、单瓜质量、果形指数等性状的测量。受环境或者种苗本身的影响,不同材料之间有所差异,对果实成熟较晚的材料单独标记后,根据生长状况延后调查时间。调查工作主要由固定的两人(一人测量,一人记数)完成,尽可能减小误差,保证数据的一致性和准确性。

### 1.4 SSR 标记检测

采用 CTAB 法提取 221 份黄瓜种质资源的 DNA<sup>[11]</sup>,利用分布于黄瓜全基因组的 240 对 SSR 引物进行 PCR 扩增。PCR 反应体系 10 μL,包括样品 DNA 1.0 μL,上下游引物各 0.5 μL,2×SG Green qPCR Mix 5.0 μL,ddH<sub>2</sub>O 3.0 μL。扩增程序:95 °C 预变性 3 min,95 °C 变性 15 s,55 °C 退火 30 s,72 °C 延伸 30 s,共 31 个循环,72 °C 延伸 10 min,4 °C 保存。扩增产物经聚丙烯酰胺凝胶电泳进行检测。

### 1.5 数据标准化处理及分析

为提高数据的准确性,将瓜长、瓜把长、瓜横径、心腔直径、瓜心室数、单瓜质量等性状进行分级处理<sup>[12]</sup>。对瓜皮色、瓜形、瓜肉色、瓜刺大小、瓜刺颜色、瓜刺瘤疏密等进行赋值,赋值结果见表 1。使用 Microsoft Excel 2016 计算各性状数据的极值、平均值、偏度、峰度、标准差、变异系数等参数;利用公式计算各性状的遗传多样性指数( $H'$ ), $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$  ( $P_i$  是指第  $i$  个样品的样品数占总样品数的比例);使用 IBM SPSS Statistics 20 进行相关性分析和主成分分析;使用 Origin 2023 b 绘制相关性分析热图和聚类分析图。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄瓜种质资源果实性状遗传多样性分析

对 221 份黄瓜种质资源农艺性状调查结果进行遗传多样性指数计算,结果如表 2 所示,黄瓜种

表1 果实性状测量及赋值结果

Table 1 Fruit traits measurement and evaluation results

序号 No.	农艺性状 Agronomic trait	记录及赋值标准 Standard of record and assignment
1	瓜瘤大小 Fruit tubercle size	1=无,2=小,3=中,4=大。 1= None, 2= Small, 3= Medium, 4= Large.
2	瓜肉色 Fruit flesh color	1=白,2=白绿,3=浅绿,4=绿。 1= White, 2= White green, 3=Light green, 4= Green.
3	瓜刺色 Spine color	1=白,2=黄,3=黑。 1= White, 2= Yellow, 3= Black.
4	瓜刺瘤疏密 Thin density of tubercle	1=无,2=稀,3=中,4=密。 1= None, 2= Thin, 3= Medium, 4= Dense.
5	瓜皮色 Peel color	1=白,2=白花绿,3=花绿,4=绿,5=深花绿,6=深绿,7=墨绿。 1= White, 2= White flower green, 3= Flower green, 4= Green, 5= Deep flower green, 6= Deep green, 7= Dark green.
6	瓜形 Fruit shape	1=指形,2=椭圆,3=倒卵形,4=短圆筒,5=长圆筒,6=短棒,7=长棒。 1= Finger, 2= Oval, 3= Obovate, 4= Short cylinder, 5= Long cylinder, 6= Short rod, 7= Long rod.
7	果形指数 Fruit shape index	结果盛期,正常商品瓜纵径与横径之比。 The ratio of fruit length to diameter of normal commercial fruit.
8	瓜长 Fruit length	正常商品瓜瓜蒂至瓜顶的长度,单位为cm。 The length of a normal commercial melon from the tip to the top, the unit is cm.
9	瓜把长 Fruit neck length	结果盛期,正常商品瓜种子腔底部至瓜把端部的距离,单位为cm。 The distance from the bottom of the seed cavity to the end of the handle of the normal commercial fruit, the unit is cm.
10	瓜横径 Fruit transverse diameter	结果盛期,正常商品瓜距瓜顶1/3处的横径,单位为cm。 The transverse diameter of the normal commercial fruit from 1/3 of the top, the unit is cm.
11	心腔直径 Fruit cavity diameter	结果盛期,正常商品瓜距瓜顶1/3处横切面的瓜瓢厚度,单位为cm。 The thickness of the fruit on the transverse section at 1/3 of the top of the fruit, the unit is cm.
12	瓜心室数 Fruit carpel number	结果盛期,正常商品瓜心腔的心室数,单位为个。 The number of carpel of the normal commercial cucumber fruit, the unit is the number.
13	单瓜质量 Single fruit mass	结果盛期,单个正常商品瓜的质量,单位为g。测量5个商品瓜的质量取平均值。 The mass of single commercial fruit, the unit is g. The average value is obtained by measuring the mass of 5 commercial fruits.

质资源的遗传多样性指数平均为1.392,各性状的遗传多样性指数不同,瓜长、瓜横径、瓜把长、心腔直径、单瓜质量、瓜形、瓜皮色、果形指数的遗传多样性指数大于1.000,其中以瓜长遗传多样性指数最高,为2.079;瓜肉色、瓜瘤大小、瓜心室数、瓜刺色和瓜刺瘤疏密遗传多样性指数小于1.000,其中以瓜心室数遗传多样性指数最低,为0.546。变异系数在7.49%~55.17%之间,平均变异系数为30.78%,变异系数从高到低依次为:瓜刺色>瓜形>瓜刺瘤疏密>瓜把长>瓜皮色>瓜肉色>果形指数>瓜长>单瓜质量>瓜瘤大小>心腔直径>瓜心室数>瓜横径。以上结果表明,黄瓜果实性状遗传多样性指数较高,说明该研究中收集到的种质资源遗传多样性丰富,具有较高的研究价值,可为黄瓜育种提供优良的种质资源。

## 2.2 黄瓜种质资源果实性状相关性分析

对221份黄瓜种质资源材料的13个果实性状

进行相关性分析,由图1可知,果形指数与瓜长和瓜把长呈显著正相关,相关系数分别为0.94和0.86,与瓜横径和瓜形呈显著负相关,相关系数分别为-0.52和-0.72;瓜长与瓜把长呈显著正相关,相关系数为0.90,与瓜形和瓜刺色呈显著负相关,相关系数分别为-0.77和-0.40;单瓜质量与瓜长和瓜把长呈显著正相关,相关系数分别为0.59和0.41,与瓜形呈显著负相关,相关系数为-0.42;瓜横径与心腔直径呈显著正相关,相关系数为0.71;瓜把长与瓜刺瘤疏密呈显著正相关,相关系数为0.46,与心腔直径、瓜形和瓜刺色呈显著负相关,相关系数分别为-0.34、-0.75和-0.38;瓜形与瓜刺瘤疏密呈显著负相关,相关系数为-0.57;瓜瘤大小与其他性状相关性不显著。

## 2.3 黄瓜种质资源果实性状主成分分析

对221份供试黄瓜资源的13个果实性状进行主成分分析,结果如表3所示,提取特征值大于1

表 2 黄瓜果实性状的遗传多样性分析  
Table 2 Genetic diversity analysis of cucumber fruit traits

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean	标准差 STD	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	变异系数 CV/%	多样性指数(H) Shannon-wiener index
瓜长 Fruit length	46.67	10.96	26.69	6.85	0.13	-0.50	25.67	2.079
瓜横径 Fruit transverse diameter	5.15	2.80	3.67	0.27	1.25	5.05	7.49	1.944
瓜把长 Fruit neck length	11.85	1.13	3.96	1.88	0.91	0.92	47.47	1.925
心腔直径 Fruit cavity diameter	2.95	1.36	1.88	0.22	1.10	3.15	11.68	1.947
瓜心室数 Fruit carpel number	5.00	3.00	3.08	0.24	4.45	26.15	7.71	0.546
单瓜质量 Single fruit mass	505.00	113.23	239.70	54.97	0.76	2.58	22.93	1.996
瓜形 Fruit shape	9.00	1.00	4.16	2.12	-0.04	-1.74	51.00	1.117
瓜皮色 Peel color	7.00	1.00	4.18	1.85	0.45	-1.02	44.19	1.468
瓜肉色 Fruit flesh color	4.00	1.00	3.47	1.07	-1.75	1.32	30.68	0.729
瓜刺色 Spine color	1.00	2.00	1.74	0.96	0.54	-1.72	55.17	0.705
瓜刺瘤疏密 Thin density of tubercle	2.00	1.00	1.71	0.85	0.59	-1.36	49.57	0.851
瓜瘤大小 Fruit tubercle size	4.00	1.00	2.77	0.50	-1.02	1.34	18.13	0.708
果形指数 Fruit shape index	14.30	2.85	7.43	2.11	0.30	-0.38	28.41	2.076

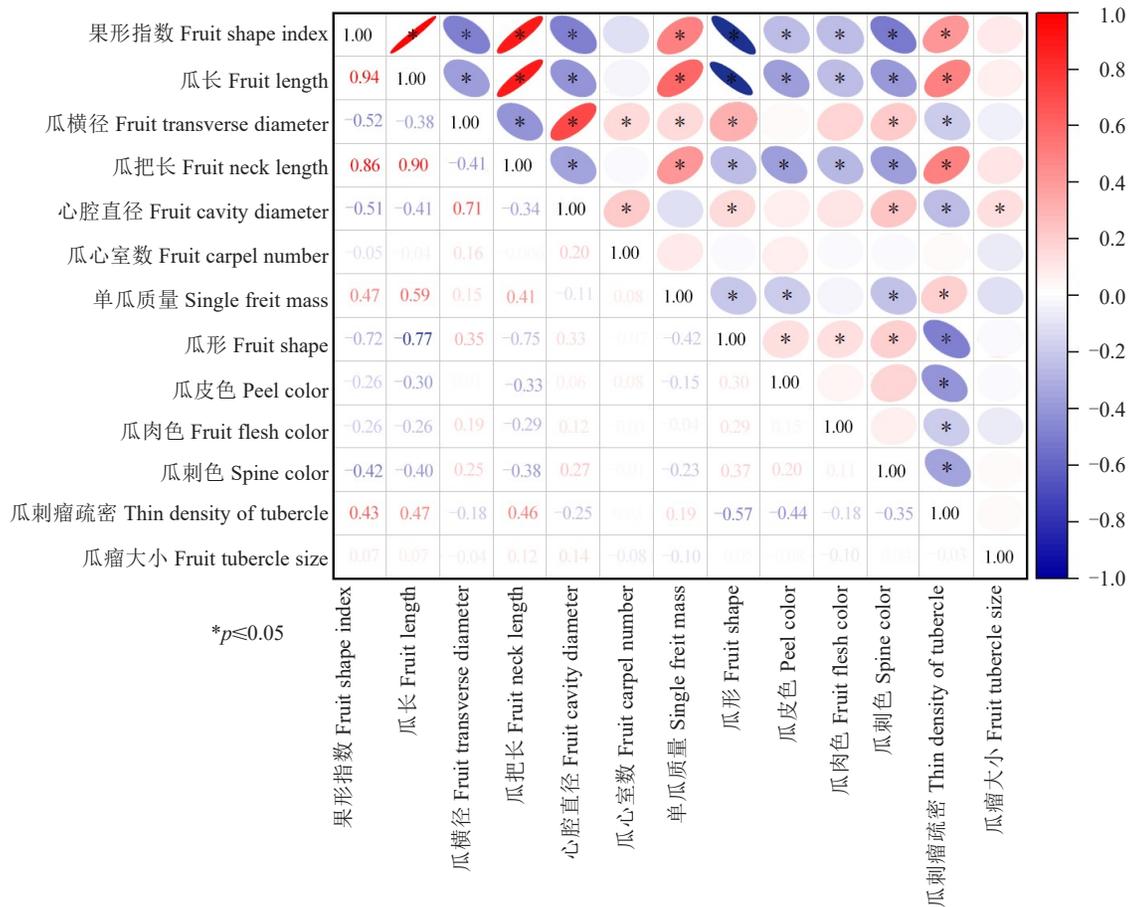


图 1 黄瓜种质资源果实性状的相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of fruit traits of cucumber germplasm resources

表3 黄瓜种质资源果实性状的主成分分析  
Table 3 Principal component analysis of agricultural fruit traits of cucumber germplasm resources

性状 Trait	主成分 Principal component			
	PC1	PC2	PC3	PC4
瓜形 Fruit shape	-0.376	-0.112	0.015	-0.029
瓜皮色 Peel color	-0.178	-0.236	0.384	0.540
瓜肉色 Fruit flesh color	-0.160	0.026	0.353	-0.082
瓜刺色 Spine color	-0.234	-0.019	-0.113	0.274
瓜刺瘤疏密 Thin density of tubercle	0.273	0.153	-0.120	-0.496
瓜瘤大小 Fruit tubercle size	0.025	0.002	-0.690	0.433
果形指数 Fruit shape index	0.418	-0.019	0.046	0.204
瓜长 Fruit length	0.415	0.095	0.061	0.201
瓜横径 Fruit transverse diameter	-0.238	0.585	-0.002	-0.025
瓜把长 Fruit neck length	0.399	0.064	-0.053	0.168
心腔直径 Fruit cavity diameter	-0.246	0.503	-0.226	0.115
瓜心室数 Fruit carpel number	-0.021	0.371	0.191	0.122
单瓜质量 Single fruit mass	0.219	0.401	0.357	0.230

表4 主成分的特征根及贡献率  
Table 4 Eigenvalue and contribution rate of principal components

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累积贡献率 Cumulative/%
1	5.083	39.10	39.10
2	1.602	12.32	51.42
3	1.207	9.28	60.71
4	1.055	8.12	68.82

的前4个主成分(PC1~PC4),累积贡献率为68.82%,包含了黄瓜果实性状的大部分信息,结果如表4所示。PC1的初始特征值为5.083,贡献率为39.10%,第一主成分特征向量绝对值较高的有果形指数、瓜形、瓜长和瓜把长等,可以概括为果实形状因子;PC2的初始特征值为1.602,贡献率为12.32%,第二主成分特征向量绝对值较高的有瓜横径、心腔直径、单瓜质量等,可以概括为果实产量因

子;PC3的初始特征值为1.207,贡献率为9.28%,第三主成分特征向量绝对值较高的有瓜瘤大小、瓜皮色,概括为果实果皮因子;PC4的初始特征值为1.055,贡献率为8.12%,第四主成分特征向量绝对值较高的有瓜刺瘤稀密和瓜瘤大小等,概括为果实刺瘤因子。

#### 2.4 黄瓜种质资源果实性状聚类分析

对221份黄瓜种质资源的13个农艺性状进行聚类分析,以欧式距离0.003为阈值,将221份核心种质分为五大类群,结果见图2,各类群的平均值见表5。

第I类群包含90份种质资源,该类种质瓜形以长圆筒为主,单瓜质量较大。瓜皮颜色较为丰富,以花绿为主,刺疏密程度多为稀刺,瘤小,瓜长在20.0~30.0 cm,瓜横径在3.5~4.0 cm,瓜把较短。

第II类群包含65份种质资源,该类种质瓜形为短棒,单瓜质量大于其他4个类群。瓜皮颜色较深,以绿色和深绿为主,刺疏密程度以中密为主,瘤小,瓜长在25.0~35.0 cm,瓜横径在3.0~4.0 cm,瓜把较长。

第III类群包含9份种质资源,该类群瓜形为椭圆,单瓜质量小。瓜皮颜色较浅,以花绿为主,少数为白色,果刺颜色多为黑色,刺疏密程度为稀,瘤小,瓜长和瓜把长最短。

第IV类群包含38份种质资源,该类群瓜形多为短圆筒,单瓜质量差异较大,最小为170.5 g,最大为505.0 g。瓜皮颜色较浅,为花绿,刺疏密程度以稀刺为主,瘤中小,瓜长在15.0~25.0 cm,瓜横径较大,在3.5~4.0 cm,瓜把长较短。

第V类群包含19份种质资源,该类群瓜形多长棒,单瓜质量在250.0 g左右。瓜皮颜色以花绿为主,刺疏密程度稀密均等,瘤小,瓜长较长,多为30.0~45.0 cm,瓜横径在3.0~4.0 cm,瓜把较长。

#### 2.5 SSR引物位点的遗传多样性分析

笔者从240对SSR引物中筛选出26对多态性较高的引物(表6),利用这些引物对221份种质资源材料进行扩增,多态性条带百分比均为100%,遗

表5 五大类群果实性状的平均值

Table 5 Average value of fruit traits of five groups

分组 Group	瓜长 Fruit length/cm	瓜横径 Fruit transverse diameter/cm	瓜把长 Fruit neck length/cm	心腔直径 Fruit cavity diameter/cm	瓜心室数 Fruit carpel number	单瓜质量 Single fruit mass/g
I	24.87	3.71	3.25	1.87	3.08	236.83
II	31.36	3.56	5.14	1.82	3.07	246.32
III	14.75	3.70	1.68	2.01	3.01	148.37
IV	23.39	3.87	2.90	1.95	3.07	225.41
V	35.18	3.39	7.06	1.76	3.09	222.36

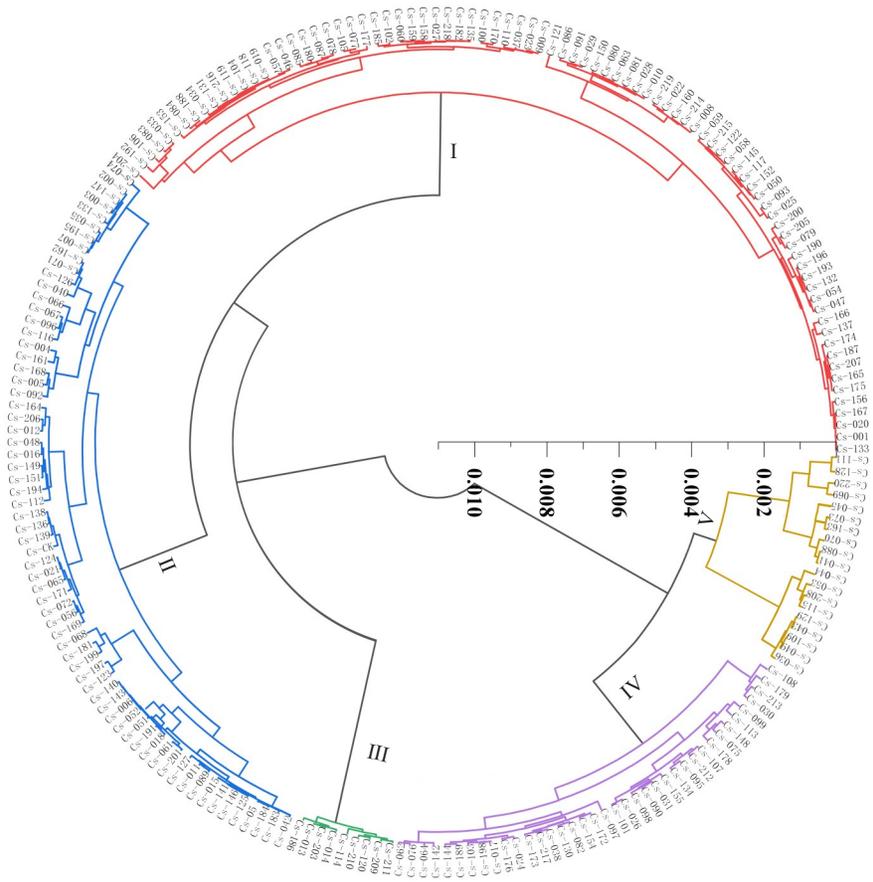


图 2 黄瓜种质资源果实性状的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of cucumber fruit traits

表 6 筛选出的 26 对高多态性 SSR 引物序列

Table 6 Selected 26 pairs of high polypeptide polymorphism SSR primer sequence

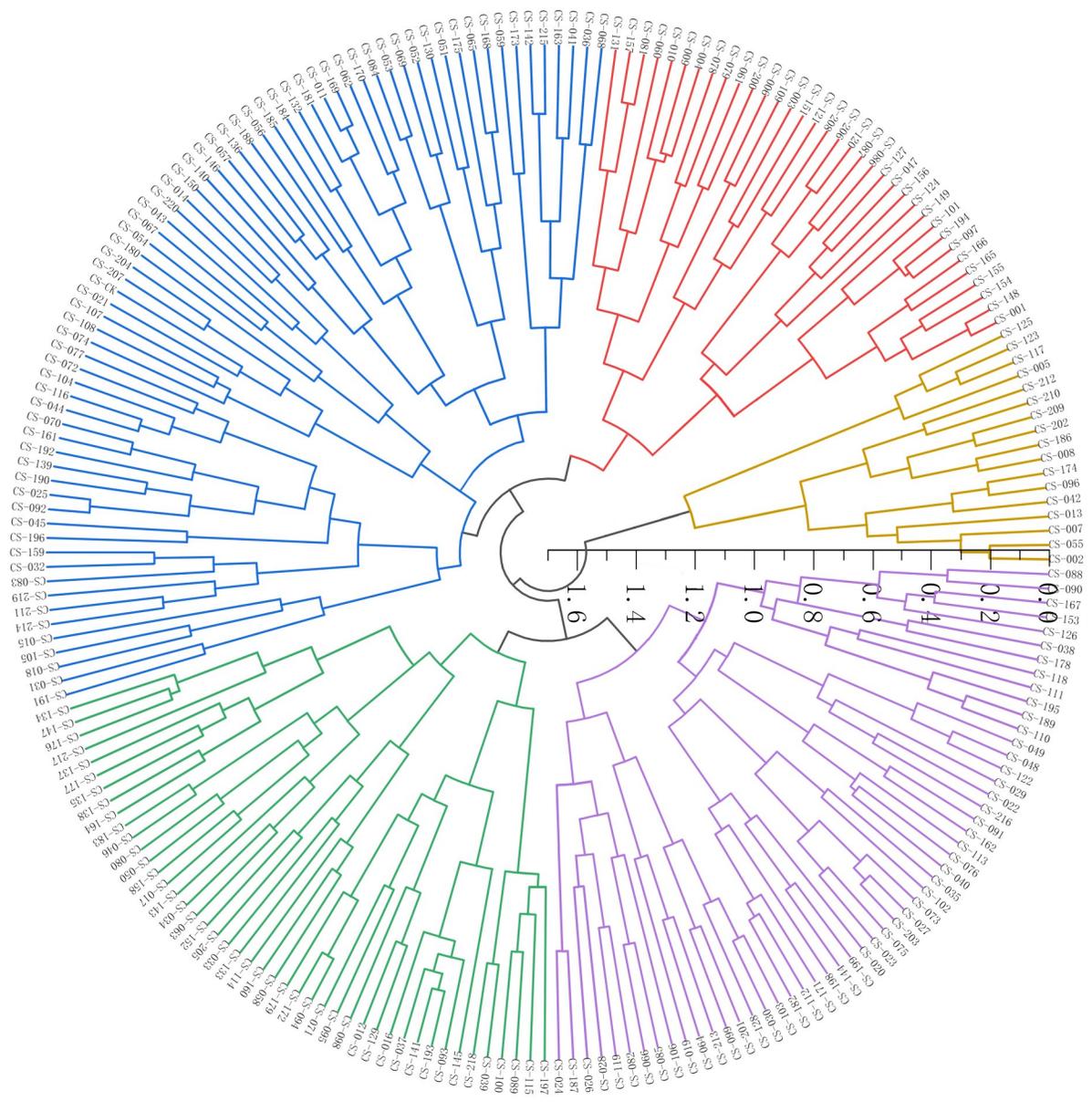
编号 ID	引物序列-F Primer sequence -F	引物序列-R Primer sequence -R
SPS1	CATCAACTTTGGCACATTGG	TACTGTCCGAACGTGTTCCA
SPS2	GGGGAAATACGTGAAAGAGG	GGTCAAATGTCAAAGAGCGG
SPS3	CCAATTAATTATCCTCCCACGA	AATTAAGTGAGGAGTGGAATTTT
SPS4	TTTTGTGCTGCTGATGAAGC	TTTCATCGCAGGTGAAGTG
SPS5	AAGTGCCATGGTGAATGGTT	TGCATGGGATACCTCAACAA
SPS6	CCACCATGTTGTGCTTATCAA	GACCCTTCCAAAAGTAATAAACAA
SPS7	ACAATGTTGAGTGGGTGGTT	TGGTTCAC TGATGATGACCTG
SPS8	GCCATTCAAGGTGTAAGACCA	ATGTTGGTTGGGTTGGGTTA
SPS9	CACATGAATCGGATTTTGA	TGCATGATTATGATCTTAGAAAACG
SPS10	TGAAATGCCTCTGCAATGAC	TCATGACTAGACAGCCAGC
SPS11	TCTCATGGATCATTATTGGGC	CCCAACAAAAGAAATGTCTCA
SPS12	TCCCACAAAACATTTTCCAA	CAATGACAGGAAACAAACCTT
SPS13	CGTTGCATGGATAAAGAAACC	ATTATGTTCCAGCTCCACGG
SPS14	TTACCTCACTTGCCTTGCC	TAAGGAATATGGTGGTGGGG
SPS15	CGATTTCAAACAAATTGCTAACTG	GGAGAGTCAAATCAAACATCCC
SPS16	AGGTACGAAACAACGGCAAT	TCGCACTCACTCTTTACCGA
SPS17	ATCCAAGAGGTTTCCAACGA	TGGTCAATGAGCTTAGCTTTCTC
SPS18	CTGGTGGGTTTTCTGAAACG	TCGCCACGTCCTCTATATC
SPS19	AAACGTCGATCGAGAGAGGA	AAAGAACC GCCATGTCTTTG
SPS20	GATGGGGATAGTGACAGTGGA	AGCCAACAACATTGGTCACA
SPS21	TGAAAGCACAAATACAAAACAA	TCACGCCAAATTAACCCTC
SPS22	CTCTCTTTGTTGGCACCCCTC	ACCAAGCGAACTAGAGAGCG
SPS23	CCCTCTCCCTCCATGTAAT	TGGGAGTTTGGGTTTACAATC
SPS24	ACCGTTTTTGGTCCGACATA	TGGGGAAAGACAAAGAACAAA
SPS25	CTCTCACTCTCCCTTCC	CCTGACCGATGTGAATTGAG
SPS26	GGGATGTAGAGGGGATTGT	TCGTTTATGACAGCATTCCA

传多样性指数平均为 0.689,其中最大值为 1.126,最小值为 0.249;多态信息(PIC)的平均值为 0.437,最小值为 0.062,最大值为 0.999。综上可知,26 对 SSR 引物在黄瓜品种中的遗传多样性高,可用于后续分子试验工作。

### 2.6 分子标记的聚类分析

将凝胶电泳图上同一引物条带上方一条带的记为 A,下方一条带的记为 B,上下方都有的记为 H,在进行聚类分析之前,将条带标记分别赋值为 01,02 和 03。利用 Origin 2023 b 进行系统聚类,在欧式距离为 1.400 时,可以将 221 份种质资源

分为 5 个类群,结果如图 3 所示。第一类群包含 Cs-001、Cs-078、Cs-101、Cs-120、Cs-206 等 35 份种质资源,占全部种质资源的 15.84%,最具代表性的种质为 Cs-194;第二类群包含 Cs-011、Cs-045、Cs-069、Cs-108、Cs-220 等 70 份种质资源,占全部种质资源的 31.67%,最具代表性的种质为 Cs-053;第三类群包含 Cs-012、Cs-071、Cs-133、Cs-152、Cs-205 等 45 份种质资源,占全部种质资源的 20.36%,最具代表性的种质为 Cs-095;第四类群包含 Cs-019、Cs-028、Cs-064、Cs-085、Cs-128 等 54 份种质资源,占全部种质资源的 24.43%,最



注:红色代表第一类群;蓝色代表第二类群;绿色代表第三类群;紫色代表第四类群;黄色代表第五类群。  
Note: Red represents Class 1; Blue represents Class 2; Green represents Class 3; Purple represents Class 4; Yellow represents Class 5.

图 3 黄瓜种质资源分子标记的聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of molecular markers of cucumber germplasm resources

具代表性的种质为 Cs-076; 第五类群包含 Cs-007、Cs-042、Cs-123、Cs-186、Cs-210 等 17 份种质资源, 占全部种质资源的 7.69%, 最具代表性的种质为 Cs-096。

### 2.7 SSR 聚类与果实性状聚类的对比

为探究 221 份黄瓜种质资源的果实表型性状与分子标记的聚类结果是否相吻合, 将二者的聚类结果进行对比。

SSR 分子标记的第一类群的 35 份黄瓜材料中的 Cs-001、Cs-047、Cs-081、Cs-121、Cs-200 等 17 份种质与表型性状聚类的第 I 类群重合, 占表型数据第 I 类群的 18.89%; Cs-003、Cs-061、Cs-151、Cs-194、Cs-206 等 10 份种质与表型性状聚类的第 II 类群重合, 占第 II 类群的 15.38%; 1 份种质资源材料 Cs-120 与表型性状聚类的第 III 类群重合, 占第 III 类群的 11.11%; Cs-097、Cs-101、Cs-148、Cs-154、Cs-155 等 5 份种质与表型性状聚类的第 IV 类群重合, 占第 IV 类群的 13.16%; Cs-109、Cs-208 这 2 份材料与表型性状聚类的第 V 类群重合, 占第 V 类群的 10.53%。

SSR 分子标记的第二类群的 70 份黄瓜种质中的 Cs-054、Cs-083、Cs-132、Cs-188、Cs-219 等 27 份种质资源材料与表型性状聚类的第 I 类群重合, 占表型数据第 I 类群的 30.00%; Cs-015、Cs-072、Cs-116、Cs-169、Cs-191 等 24 份种质与表型性状聚类的第 II 类群重合, 占第 II 类群的 36.92%; 2 份种质资源材料 Cs-014、Cs-211 与表型性状聚类的第 III 类群重合, 占第 III 类群的 2.22%; Cs-031、Cs-062、Cs-107、Cs-130、Cs-142 等 7 份种质与表型性状聚类的第 IV 类群重合, 占第 IV 类群的 18.42%; Cs-036、Cs-041、Cs-053、Cs-069、Cs-163、Cs-220 等 10 份种质与表型性状聚类的第 V 类群重合, 占第 V 类群的 52.63%。

SSR 分子标记的第三类群的 45 份黄瓜种质中 Cs-033、Cs-080、Cs-094、Cs-100、Cs-218 等 22 份种质与表型性状聚类的第 I 类群重合, 占表型数据第 I 类群的 24.44%; Cs-012、Cs-039、Cs-071、Cs-138、Cs-197 等 12 份种质与表型性状聚类的第 II 类群重合, 占第 II 类群的 18.46%; 只有 Cs-114 与表型性状聚类的第 III 类群重合, 占第 III 类群的 11.11%; Cs-017、Cs-095、Cs-134、Cs-176、Cs-217 等 8 份种质与表型性状聚类的第 IV 类群重合, 占第 IV 类群的 21.05%; Cs-115、Cs-129 与表型性状聚类的第 V 类群重合, 占第 V 类群的 10.53%。

SSR 分子标记的第四类群的 54 份黄瓜种质中的 Cs-019、Cs-027、Cs-091、Cs-110、Cs-177 等 21 份种质与表型性状聚类的第 I 类群重合, 占表型数据第 I 类群的 23.33%; Cs-035、Cs-066、Cs-171、Cs-199、Cs-211 等 11 份种质与表型性状聚类的第 II 类群重合, 占第 II 类群的 16.92%; Cs-203 与表型性状聚类的第 III 类群重合, 占第 III 类群的 11.11%; 16 份种质如 Cs-030、Cs-076、Cs-103、Cs-189、Cs-213 等与表型性状聚类的第 IV 类群重合, 占第 IV 类群的 42.11%; Cs-049、Cs-073、Cs-088、Cs-111、Cs-128 这 5 份材料与表型性状聚类的第 V 类群重合, 占第 V 类群的 26.32%。

SSR 分子标记的第五类群的 17 份黄瓜种质中的 Cs-008、Cs-117、Cs-174 与表型性状聚类的第 I 类群重合, 占表型数据第 I 类群的 3.33%; Cs-005、Cs-007、Cs-042、Cs-096、Cs-125 等 8 份种质与表型性状聚类的第 II 类群重合, 占第 II 类群的 12.31%; 4 份种质 Cs-013、Cs-186、Cs-209、Cs-210 与表型性状聚类的第 III 类群重合, 占第 III 类群的 44.44%; Cs-212 与表型性状聚类的第 IV 类群重合, 占第 IV 类群的 2.63%; 没有种质与第 V 类群重合。

## 3 讨论与结论

优良种质的评价不仅要看产量, 还要看果皮性状、果实品质等多项要素, 且各要素的贡献程度并不相同<sup>[13]</sup>。因而有必要对黄瓜果实农艺性状进行综合性评价, 最终选育出适应当地环境条件的最佳品种, 而丰富的种质资源是育种工作的先决条件<sup>[14]</sup>, 优异种质资源是黄瓜育种工作的重要基础<sup>[15-16]</sup>。在本研究中, 221 份黄瓜种质资源果实性状的变异系数在 7.49%~55.17% 之间, 表明 221 份黄瓜种质资源遗传多样性丰富。相关性分析表明, 瓜长与瓜把长呈显著正相关, 这与陈瑞军<sup>[17]</sup>、于娅等<sup>[18]</sup>、钟金仙等<sup>[19]</sup>的研究结果一致; 单瓜质量与瓜长、瓜把长呈显著正相关, 这与蒋举卫等<sup>[20]</sup>的研究结果略有不同, 可能是因为数据的调查收集方式或者供试材料的来源不同; 瓜形与瓜横径呈显著正相关, 这与王越等<sup>[21]</sup>对黄瓜果实性状的研究结果一致。221 份黄瓜种质资源遗传多样性丰富, 具有较大的育种潜力。

主成分分析将高维数据转化为较低的维度, 使数据可视化<sup>[22]</sup>, 进而了解品种之间的差异, 提高育种水平。近年来主成分分析在马铃薯<sup>[23]</sup>、油菜<sup>[24]</sup>、花生<sup>[25]</sup>等作物上已有大量报道, 笔者将 13 个果实性状概括为 4 个主成分, 即果实形状因子、果实产量因

子、果实果皮因子和果实刺瘤因子,4个主成分的累积贡献率达68.82%,包含了果实性状的大部分信息,因此可利用这些信息对种质资源进行综合评价。

聚类分析能将黄瓜种质资源划分为不同的群体或类别,有助于管理大规模的遗传资源,使其更易于研究和利用<sup>[26]</sup>。通过对比表型性状和分子标记的结果,发现221份黄瓜种质资源的SSR分子标记聚类结果与果实性状聚类结果具有一定的吻合度,但仍然存在差异。这与罗霆等<sup>[27]</sup>在木薯种质资源的研究及汪欢笑等<sup>[28]</sup>在万寿菊研究中的结论一致。因此在育种实践中需结合两者的数据分析来共同提高育种效率。

综上所述,221份黄瓜种质资源果实性状遗传多样性丰富,13个果实性状的遗传多样性指数平均为1.392,平均变异系数为30.78%;相关性分析表明,除瓜瘤大小外,其他12个性状均有与其关联性较强的性状;主成分分析根据特征向量绝对值的贡献率分别概括为果实形状因子、果实产量因子、果实果皮因子、果实刺瘤因子,特征值大于1的前4个主成分累积贡献率为68.82%;表型性状的聚类分析在欧氏距离0.003时将221份黄瓜种质资源分为五类,每一类群分别包含90、65、9、38、19份种质资源,其中第II类群单瓜质量最大,可为选育高产品种提供优异种质资源;SSR分子标记的聚类分析在欧式距离1.400时将221份种质资源分为五大类群,每一类群分别包含35、70、45、54、17份种质资源;对比表型性状和分子标记的聚类结果,发现二者具有一定的吻合度,但仍存在差异,因此在育种时要将表型性状和分子标记相结合。

#### 参考文献

- [1] PANYANITIKOON H, KHANOBDEE C, JANTTASURIYARAT C, et al. Genetic variation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) germplasm assessed using random amplified polymorphic DNA markers[J]. Agriculture and Natural Resources, 2018, 52(5):497-502.
- [2] DOU X X, SHEN D, ZHANG X H, et al. Diversity of sex types and seasonal sexual plasticity in a cucumber germplasm collection[J]. Horticultural Plant Journal, 2015, 1(2):61-69.
- [3] 吴雪霞, 查丁石, 杨少军. 我国黄瓜育种研究进展[J]. 江西农业学报, 2010, 22(9):53-55.
- [4] 张圣平, 苗晗, 薄凯亮, 等. “十三五”我国黄瓜遗传育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2021(4):16-26.
- [5] 曹守军, 李涛, 姚建刚, 等. 烟台地方黄瓜种质资源植物学鉴定及聚类分析[J]. 北方园艺, 2016(10):14-18.
- [6] 徐强, 刘进生, 陈学好, 等. 加工类型黄瓜品质性状的主成分及聚类分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2003, 24(4):78-81.
- [7] 曹齐卫, 张卫华, 王志峰, 等. 山东黄瓜地方品种资源果实外观品质的评价[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(4):578-582.
- [8] 沈镛, 李锡香, 方智远, 等. 西双版纳黄瓜种质资源形态鉴定和亲缘关系的初步研究[J]. 中国蔬菜, 2010(2):21-27.
- [9] 任思铃, 朱雪云, 闫立英, 等. 黄瓜涩味感官评价影响因素及种质资源涩味评价分析[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(3):36-41.
- [10] 李锡香. 黄瓜种质资源描述规范和数据标准[S]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [11] YANG J B, LI D Z, LI H T. Highly effective sequencing whole chloroplast genomes of angiosperms by nine novel universal primer pairs[J]. Molecular Ecology Resources, 2014, 14(5):1024-1031.
- [12] 郭元元, 周生茂, 陈振东, 等. 广西黄瓜地方品种鉴定评价及遗传多样性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(7):1273-1281.
- [13] 王晓磊, 康泽然, 魏云山, 等. 20份小豆种质资源农艺性状鉴定与综合评价[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(2):98-104.
- [14] 石建斌, 周红, 王宁, 等. 陆地棉纤维品质与主要农艺性状的相关性分析[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(4):770-775.
- [15] 吴超, 林巧奇, 秦德辉, 等. 切花百合种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 分子植物育种, 2016, 14(5):1300-1308.
- [16] 万新建, 缪南生, 张景云, 等. 苦瓜新品种‘赣苦瓜7号’[J]. 园艺学报, 2016, 43(10):2061-2062.
- [17] 陈瑞军. 旱黄瓜主要性状分析及品比试验[D]. 河北秦皇岛: 河北科技师范学院, 2019.
- [18] 于娅, 李艳军, 王飞, 等. 北方地区黄瓜种质资源农艺性状的主成分和聚类分析[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(12):29-34.
- [19] 钟金仙, 罗英, 曾仁杰, 等. 黄瓜种质资源果实性状的主成分分析与综合评价[J]. 中国农学通报, 2017, 33(16):46-52.
- [20] 蒋举卫, 薛红霞, 宋晓飞, 等. 109份黄瓜种质资源主要农艺性状分析[J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(1):38-43.
- [21] 王越, 吕赢, 蔺晓萱, 等. 139份黄瓜种质资源主要果实性状的主成分和聚类分析[J]. 长江蔬菜, 2023(22):45-50.
- [22] 和凤美, 朱永平, 朱芮, 等. 超甜玉米自交系主要农艺性状及鲜穗产量的主成分分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(18):79-83.
- [23] 王丽, 句荣辉, 杨洋, 等. 马铃薯品质特性的相关性及其主成分分析[J]. 食品工业, 2023, 44(12):307-312.
- [24] 朱宗河, 郑文寅, 张学昆. 甘蓝型油菜耐旱相关性状的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2011, 44(9):1775-1787.
- [25] 殷冬梅, 张幸果, 王允, 等. 花生主要品质性状的主成分分析与综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(4):507-512.
- [26] 闫世江, 张继宁, 刘洁. 聚类分析在黄瓜育种中的应用[J]. 当代生态农业, 2012(1):9-12.
- [27] 罗霆, 杨守臻, 韦民政, 等. 24份木薯(*Manihot esculenta*)种质的遗传多样性研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31(1):65-71.
- [28] 汪欢笑. 基于表型性状和SSR标记多样评价构建万寿菊初级核心种质[D]. 河北秦皇岛: 河北科技师范学院, 2023.