

苦瓜种质资源表型性状遗传多样性分析及耐冷种质筛选

龚攀, 刘璇, 楚晓真, 梁峥, 刘格, 琚志君

(郑州市农业科技研究院 郑州 450000)

摘要:为筛选出商品性佳且耐冷的苦瓜种质,以87份苦瓜种质资源为材料,对其苗期耐冷性进行鉴定,分析其遗传多样性,并开展相关性分析、主成分分析和聚类分析。结果表明,87份苦瓜种质表型性状具有丰富的变异,遗传多样性指数(H')的变幅为0.73~2.12,其中叶宽的遗传多样性指数最高,瓜肉厚度次之;相关性分析结果表明,13个性状均有与其关联性较高的性状,其中单瓜质量与瓜纵径、瓜横径、瓜肉厚呈极显著正相关,说明可以通过改良瓜纵径、瓜横径和瓜肉厚来提高苦瓜产量;主成分分析表明,13个农艺性状可以归纳为5个主成分,其累计贡献率达到75.676%,包含了苦瓜农艺性状的大部分信息,各苦瓜种质的综合得分在0.41~1.36;聚类分析结果表明,在 $D^2=20$ 时,可将87份苦瓜种质分为特征不同的四大类群,分别包含了17、6、3、61份种质资源,可选择遗传距离相差较远的材料作配组亲本,为苦瓜种质资源合理利用和品种遗传改良提供科学依据。通过苦瓜种质耐冷性鉴定和综合性状评价筛选出3份优异的耐冷材料2019781259、2022643867和202409,可作为今后耐冷育种的优异目标亲本。

关键词: 苦瓜;农艺性状;遗传多样性;耐冷性

中图分类号: S642.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)04-050-10

Genetic diversity analysis of phenotypic traits and cold tolerance screening of bitter gourd germplasm resources

GONG Pan, LIU Xuan, CHU Xiaozhen, LIANG Zheng, LIU Ge, JU Zhijun

(Zhengzhou Institute of Agricultural and Technology Science, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: To screen bitter gourd germplasm resources with good commodity traits and cold tolerance, this paper used 87 bitter gourd germplasm resources as materials to evaluate their cold tolerance at the seedling stage, analyze their genetic diversity, and conduct correlation analysis, principal component analysis, and cluster analysis. The results showed that the phenotypic traits of the 87 bitter gourd germplasms exhibited rich variation. The genetic diversity index ranged from 0.73 to 2.12, with leaf width having the highest genetic diversity index, followed by flesh thickness. Correlation analysis indicated that each of the 13 traits had closely associated traits, among which single fruit mass was extremely positively correlated with fruit diameter, fruit length, and fruit thickness, indicating that the yield could be improved by increasing the fruit diameter, fruit length, and fruit thickness. Principal component analysis revealed that the 13 agronomic traits could be summarized into 5 principal components, and their cumulative contribution rate reached 75.676%, which contained most of the information of bitter gourd agronomic traits. The comprehensive scores of the bitter gourd germplasms ranged from 0.41 to 1.36. Cluster analysis showed that at $D^2=20$, the 87 bitter gourd germplasms could be divided into four groups with distinct characteristics, which contained 17, 6, 3, and 61 germplasms, respectively. The materials with large genetic distances could be selected as parents for crossbreeding, providing a scientific basis for the rational utilization of bitter gourd germplasm resources and genetic improvement of varieties. Through cold tolerance identification and comprehensive trait evaluation, three superior cold-tolerant materials, 2019781259, 2022643867 and 202409 were screened out as excellent target parents for cold tolerance breeding in the future.

Key words: Bitter gourd; Agronomic trait; Genetic diversity; Cold tolerance

收稿日期: 2025-09-22; 修回日期: 2025-12-19

基金项目: 河南省科技攻关项目(242102110306)

作者简介: 龚攀,男,副研究员,主要从事蔬菜栽培及育种研究。E-mail: gongpan-01@163.com

苦瓜(*Momordica charantia* L.)又名凉瓜、癞瓜、锦荔枝等,为葫芦科苦瓜属一年生攀缘状草本植物,因果实中含有特殊的苦味而得名,在我国南北各地均有种植,以广东、广西、福建、江西和海南等南方地区栽培较为普遍^[1]。苦瓜味苦性寒,以食用嫩瓜为主,不仅富含膳食纤维、氨基酸、维生素C、维生素E、矿物质等多种营养物质,还含有皂苷、多肽、黄酮和生物碱等多种生物活性物质,具有清热解毒、增强免疫力等药用保健价值,深受消费者喜爱^[2-4]。近年来,随着苦瓜的营养价值和经济价值被挖掘,其种植面积逐年增加,苦瓜已成为瓜类蔬菜中重要的经济作物之一,具有重要的产业地位^[5-9]。

苦瓜属于冷敏型蔬菜,耐热不耐寒,在萌芽期和幼苗期,遭遇低温会抑制种子萌发和根系发育,降低光合作用效率,进而影响植株的生长发育,导致产量和品质下降及上市延后等问题^[7]。冷害已成为当前苦瓜产业发展的重要限制性因素,挖掘优质耐冷苦瓜种质并培育耐冷苦瓜品种是解决这一问题的根本途径。

目前,关于苦瓜种质耐冷性鉴定与评价方面的报道有很多,牛玉等^[9]对148份苦瓜种质进行了耐冷性鉴定,得到了16份发芽期和苗期均耐冷的苦瓜种质,其中有9份条瘤种质,为苦瓜耐冷品种尤其是油绿苦瓜的选育提供了新的资源。陈小凤等^[9]对54份苦瓜材料芽期进行耐冷性鉴定,认为发芽率和种子活力指数可作为苦瓜发芽期耐冷性鉴定的重要指标,并将供试材料分为4类:高度低温敏感型、低温敏感型、高度耐冷型和耐冷型。裘波音等^[10]对52份苦瓜种质在低温下的发芽能力进行鉴定和评价,建立了低温发芽能力评价方程,对苦瓜低温发芽能力进行预测具有较高的准确性,并通过综合评价发掘出5个低温发芽能力强的种质BG9、BG5、BG15、BG8和BG55。收集和鉴定重要苦瓜种质的表型性状和耐冷性,筛选优异种质资源,是苦瓜耐冷育种工作的重要内容,目前鲜有苦瓜表型性状遗传多样性分析结合耐冷种质筛选的研究报道。笔者对87份苦瓜种质进行表型性状的遗传多样性分析及耐冷性评价,以期筛选出商品性优良且耐冷性强的苦瓜种质资源,为苦瓜耐冷品种的培育和改良提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

供试材料为87份苦瓜种质资源,材料名称及

来源见表1。

1.2 方法

1.2.1 表型性状调查 于2024年在郑州市蔬菜研发中心进行试验,3月10日浸种催芽后播种于穴盘中进行育苗,4月20日当幼苗长至4片真叶时移栽到大田,采用大棚搭架式栽培,双行种植,行距150 cm,株距80 cm。采用随机区组设计,小区面积13 m²,每个重复20株,每个品种3次重复,定植后统一采用常规田间种植模式管理。按照《苦瓜种质资源描述规范和数据标准》^[11]进行相关农艺性状的调查与鉴定。于生长适期从各小区中随机选取10株,测定农艺性状,茎粗、节间长、叶长、叶宽、叶柄长、瓜纵径、瓜横径、瓜肉厚、单瓜质量等9个数量性状采用直尺或游标卡尺测定,瓜形、瓜皮色、瘤形、熟性等4个质量性状按照质量性状的描述规范进行赋值(表2)。

1.2.2 耐冷性鉴定 苦瓜耐冷性鉴定参照NIU等^[12]、牛玉等^[13]的方法。苗期耐冷性鉴定于郑州市蔬菜研发中心育苗温室中进行,将87份苦瓜种质的种子进行浸种催芽,露白后播于穴盘内,1穴1粒,每份种质3次重复,每次20株。待幼苗长至2叶1心时,选取整齐一致的幼苗放入人工气候箱中(光期14 h,暗期10 h)进行6℃低温处理1 d,记录分析各单株的冷害指数。冷害症状分级标准如下。

0级:无冷害症状;1级:1片真叶受害,边缘卷曲,轻微萎蔫;2级:2片真叶受害,边缘卷曲,轻微萎蔫;3级:2片真叶受害,每片真叶约1/2叶面积受害,叶片边缘枯死;4级:全株受害、植物萎蔫,有倒伏倾向,新叶受害,呈轻微水渍状。

冷害指数= \sum (各级冷害级值×各级冷害株数)/4×调查总株数×100。

冷害指数<35,耐冷性强;35≤冷害指数≤65,耐冷性中;冷害指数>65,耐冷性弱。

1.3 数据统计与分析

使用Microsoft Excel 2013处理试验数据,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SPSS 26.0软件进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 苦瓜种质资源主要农艺性状的多态性分析

由表3可知,苦瓜种质资源的9个数量性状的变异系数在12.13%~24.23%,平均变异系数为16.82%,变异系数从高到低依次为瓜纵径

表1 供试苦瓜种质资源来源及编号
Table 1 Origin and number of bitter gourd germplasm resources

编号 No.	名称 Name	来源 Origin	编号 No.	名称 Name	来源 Origin
1	KG2015346782	广东 Guangdong	45	202363487	山东 Shandong
2	201837468	山东 Shandong	46	20241378	山东 Shandong
3	20161312754	海南 Hainan	47	2024346	山东 Shandong
4	KG2015368943	广东 Guangdong	48	202425631	山东 Shandong
5	KG201576321	湖南 Hunan	49	20249135	山东 Shandong
6	KG201576413	广东 Guangdong	50	202461512	山东 Shandong
7	201925761	广西 Guangxi	51	202516	福建 Fujian
8	20173125876	广东 Guangdong	52	202501	福建 Fujian
9	2018456217	广西 Guangxi	53	202568	广西 Guangxi
10	20161632451	广东 Guangdong	54	202531	福建 Fujian
11	KG20134316759	山东 Shandong	55	20259	福建 Fujian
12	2019523462	广东 Guangdong	56	20247321	福建 Fujian
13	202015469	广东 Guangdong	57	202341315	湖北 Hubei
14	KG201564735	江西 Jiangxi	58	20239416	福建 Fujian
15	KG201546789	江西 Jiangxi	59	2023324	湖南 Hunan
16	2018138294	辽宁 Liaoning	60	20241613	福建 Fujian
17	20203451	江西 Jiangxi	61	2022171217	湖南 Hunan
18	20213527	江西 Jiangxi	62	20213468	福建 Fujian
19	2017687429	辽宁 Liaoning	63	20253	福建 Fujian
20	2018134267	江西 Jiangxi	64	202461	湖南 Hunan
21	2017368247	山东 Shandong	65	2024479	山东 Shandong
22	201846375	江西 Jiangxi	66	20241712	广西 Guangxi
23	20213271	江西 Jiangxi	67	202424	云南 Yunnan
24	20204537	河南 Henan	68	202429	云南 Yunnan
25	201835647	江西 Jiangxi	69	202428	海南 Hainan
26	20173641245	江西 Jiangxi	70	202437	海南 Hainan
27	2017689134	河南 Henan	71	202425	海南 Hainan
28	2019356218	江西 Jiangxi	72	202413	河南 Henan
29	2016265934	江西 Jiangxi	73	202456	河南 Henan
30	2017382561	河南 Henan	74	202417	江西 Jiangxi
31	201857416	江西 Jiangxi	75	202409	广西 Guangxi
32	2018763248	江西 Jiangxi	76	202407	湖南 Hunan
33	20193581371	重庆 Chongqing	77	202518	湖南 Hunan
34	2019781259	重庆 Chongqing	78	20258	江苏 Jiangsu
35	20199315842	广西 Guangxi	79	202567	江苏 Jiangsu
36	20203512867	广西 Guangxi	80	202457	河北 Hebei
37	20201213675	广西 Guangxi	81	20231345	河南 Henan
38	2022375198	湖南 Hunan	82	20257	河北 Hebei
39	2022463185	湖南 Hunan	83	20245	河北 Hebei
40	2022643867	湖南 Hunan	84	202406	海南 Hainan
41	2017589134	河南 Henan	85	20230712	海南 Hainan
42	201615123467	河南 Henan	86	202431	海南 Hainan
43	20199514734	江苏 Jiangsu	87	202433	湖南 Hunan
44	2023164287	广东 Guangdong			

(24.23%)>单瓜质量(23.70%)>瓜肉厚(18.37%)>叶宽(17.49%)>茎粗(14.51%)>叶柄长(14.02%)>瓜横

径(13.76%)>叶长(13.17%)>节间长(12.13%);遗传多样性指数变幅为1.16~2.12,平均值为1.66,其中

表2 苦瓜种质资源质量性状分级与赋值

Table 2 Grading and assignment of qualitative traits in bitter melon germplasm resources

性状 Trait	分级和赋值 Grading and assignment
瓜形 Fruit shape	1=尖顶;2=大顶;3=钝顶 1=Tapered tip; 2=Big top; 3=Blunt top
瓜皮色 Fruit color	1=白色;2=白绿;3=浅绿;4=绿色;5=深绿;6=浓绿;7=亮绿 1=White; 2=White green; 3=Light green; 4=Green; 5=Dark green; 6=Dense green; 7=Brilliant green
瘤形 Wart shape	1=无瘤;2=平瘤;3=竖瘤;4=刺瘤 1=No wart; 2=Flat wart; 3=Vertical wart; 4=Prickly wart
熟性 Maturity	1=极早熟;2=早熟;3=中熟;4=晚熟;5=极晚熟 1=Extremely early maturity; 2=Early maturity; 3=Medium maturity; 4=Late maturity; 5=Extremely late maturity

表3 苦瓜种质资源数量性状的多态性分析

Table 3 Polymorphism analysis of quantitative traits in bitter melon germplasm resources

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	极差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	多样性指数 H'
茎粗 Stem thickness/cm	1.39	0.73	0.66	1.03	0.15	14.51	1.68
节间长 Internode length/cm	10.53	5.62	4.91	8.03	0.97	12.13	1.46
叶长 Leaf length/cm	13.88	6.17	7.71	10.97	1.45	13.17	1.64
叶宽 Leaf width/cm	19.74	6.80	12.94	15.91	2.78	17.49	2.12
叶柄长 Petiole length/cm	11.13	6.25	4.89	8.45	1.18	14.02	1.56
瓜纵径 Melon vertical diameter/cm	52.88	13.24	39.65	33.22	8.05	24.23	1.76
瓜横径 Melon transverse diameter/cm	8.78	3.32	5.46	6.04	0.83	13.76	1.16
瓜肉厚 Melon flesh thickness/cm	1.68	0.73	0.95	1.14	0.21	18.37	2.02
单瓜质量 Single fruit mass/g	883.88	233.79	650.09	508.86	120.59	23.70	1.54

叶宽的遗传多样性指数最高,为 2.12,瓜肉厚次之,为 2.02,瓜横径的遗传多样性指数最低,为 1.16。

由表 4 可知,苦瓜种质资源的 4 个质量性状的遗传多样性指数范围为 0.73~1.23,其中熟性最高,为 1.23,瓜形最低,为 0.73。87 份苦瓜种质资源的瓜形以尖顶为主,频率分布为 73.56%;瓜皮色以绿色为主,频率分布为 64.37%;瘤形以平瘤为主,频率分布为 60.92%;熟性以晚熟为主,频率分布为 51.72%。

以上结果表明,大部分性状表现出了较丰富的遗传多样性,参试的种质资源具有较高的研究价值,可用于遗传育种和种质创新。

2.2 苦瓜种质资源主要农艺性状相关性分析

对 87 份苦瓜种质资源的 13 个农艺性状进行相关性分析,结果(表 5)表明,熟性与瓜纵径、瓜横径、瓜肉厚、单瓜质量呈极显著正相关,相关系数分别为 0.406、0.387、0.507 和 0.925;瘤形与叶长、叶宽呈显著负相关,相关系数分别为-0.230 和-0.239,与瓜皮色呈极显著负相关,相关系数为-0.329;瓜形与叶长、叶宽呈显著正相关,相关系数分别为 0.243 和 0.231,与叶柄长呈极显著正相关,相关系数为 0.449,与瓜皮色呈极显著负相关,相关系数

表4 苦瓜种质资源质量性状的多态性分析

Table 4 Polymorphism analysis of qualitative traits in bitter melon germplasm resources

性状 Trait	多样性指数 H'	类型 Type	频次 Frequency
瓜形 Fruit shape	0.73	尖顶 Tapered tip	64
		大顶 Big top	6
		钝顶 Blunt top	17
瓜皮色 Fruit color	1.20	白色 White	11
		白绿 White green	2
		浅绿 Light green	3
		绿色 Green	56
		深绿 Dark green	3
瘤形 Wart shape	1.09	浓绿 Dense green	2
		亮绿 Brilliant green	10
		无瘤 No wart	14
		平瘤 Flat wart	53
		竖瘤 Vertical wart	11
熟性 Maturity	1.23	刺瘤 Prickly wart	9
		极早熟 Extremely early maturity	6
		早熟 Early maturity	11
		中熟 Medium maturity	23
		晚熟 Late maturity	45
		极晚熟 Extremely late maturity	2

表5 苦瓜种质资源农艺性状的相关性分析
Table 5 Correlation analysis of agronomic traits of bitter gourd germplasm resources

性状 Trait	茎粗 Stem thickness	节间长 Internode length	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width	叶柄长 Petiole length	瓜纵径 Melon vertical diameter	瓜横径 Melon transverse diameter	瓜肉厚 Melon flesh thickness	单瓜质量 Single fruit mass	瓜形 Fruit shape	瓜皮色 Fruit color	瘤形 Wart shape	熟性 Maturity
茎粗	1.000												
节间长	0.082	1.000											
叶长	0.186	0.020	1.000										
叶宽	-0.015	-0.093	0.835**	1.000									
叶柄长	0.234*	0.246*	0.445**	0.305**	1.000								
瓜纵径	-0.047	0.472**	0.019	-0.136	0.424**	1.000							
瓜横径	0.008	-0.121	-0.078	0.133	-0.245*	-0.476**	1.000						
瓜肉厚	-0.019	-0.059	-0.136	-0.040	-0.285**	-0.100	0.378**	1.000					
单瓜质量	0.074	0.228*	-0.119	-0.060	0.021	0.356**	0.419**	0.509**	1.000				
瓜形	0.089	-0.053	0.243*	0.231*	0.449**	0.191	-0.046	-0.085	-0.033	1.000			
瓜皮色	0.119	0.084	-0.027	-0.065	-0.094	0.001	-0.050	-0.183	-0.077	-0.338**	1.000		
瘤形	0.049	0.051	-0.230*	-0.239*	-0.209	0.005	0.144	0.181	0.129	-0.086	-0.329**	1.000	
熟性	-0.018	0.203	-0.165	-0.102	0.019	0.406**	0.387**	0.507**	0.925**	-0.029	-0.039	0.139	1.000

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: * indicate significant correlation at 0.05 level; ** indicate extremely significant correlation at 0.01 level.

为-0.338;单瓜质量与节间长呈显著正相关,相关系数为 0.228,与瓜纵径、瓜横径、瓜肉厚呈极显著正相关,相关系数分别为 0.356、0.419 和 0.509;瓜肉厚与叶柄长呈极显著负相关,相关系数为-0.285,与瓜横径呈极显著正相关,相关系数为 0.378;瓜横径与叶柄长呈显著负相关,相关系数为-0.476;瓜纵径与节间长、叶柄长呈极显著正相关,相关系数分别为 0.472 和 0.424;叶柄长与茎粗、节间长呈显著正相关,相关系数分别为 0.234 和 0.246,与叶长、叶宽呈极显著正相关,相关系数分别为 0.445 和 0.305;叶长与叶宽呈极显著正相关,相关系数为 0.835。

2.3 苦瓜种质资源主要农艺性状主成分分析

对 87 份苦瓜种质资源的 13 个农艺性状进行主成分分析,结果(表 6~7)表明,可将苦瓜的 13 项农艺性状归纳为 5 个主成分,其 5 个主成分的特征值均大于 1,累计贡献率达到 75.676%。PC1 的特征值为 2.933,贡献率为 22.565%,第一主成分特征向量绝对值较高的有瓜横径、瓜肉厚、单瓜质量和熟性,可以概括为产量因子;PC2 的特征值为 2.445,贡献率为 18.807%,第二主成分特征向量绝对值较高的有叶长和叶宽,可以概括为叶形因子;PC3 的特征值为 1.957,贡献率为 15.050%,第三主成分特征向量绝对值较高的为瓜纵径,可以概括为果形因子;PC4 特征值为 1.416,贡献率为 10.891%,第四主成分特征向量绝对值较高的有瓜形、瓜皮色、瘤形,可以概括为果实商品性因子;PC5 特征值为 1.087,贡献率为 8.363,第五主成分特征向量绝对值较高的有茎粗,可以概括为植株形态因子。

由表 8 可知,87 份苦瓜种质的综合得分在 0.600~1.631,综合得分排名在前七位的种质资源得分均大于 1.500,依次为 33 (1.631)、75 (1.631)、34 (1.611)、76 (1.606)、86 (1.588)、40 (1.587)、82 (1.583)。

2.4 苦瓜种质资源主要农艺性状的聚类分析

如图 1 所示,对 87 份苦瓜种质资源进行聚类分析,在平方欧式距离 $D^2=20$ 时,可将 87 份苦瓜种质分为 4 个类群,每一类种质资源的特征值见表 9 和表 10。类群 I 包含 17 份种质,占比 19.54%,该类群果实以长棒形为主,瓜皮色主要为绿色,平瘤,多为晚熟种质,瓜纵径均值最大,

表6 苦瓜种质资源农艺性状的主成分特征值与贡献率

Table 6 Principal component eigenvalues and contribution rates of agronomic traits of bitter gourd germplasm resources

成分 Ingredient	初始特征值 Initial eigenvalue			入选特征值 Selected eigenvalues		
	特征值	贡献率	累计贡献率	特征值	贡献率	累计贡献率
	Eigenvalue	Contribution rate/%	Accumulative contribution rate/%	Eigenvalue	Contribution rate/%	Accumulative contribution rate/%
1	2.933	22.565	22.565	2.933	22.565	22.565
2	2.445	18.807	41.372	2.445	18.807	41.372
3	1.957	15.050	56.422	1.957	15.050	56.422
4	1.416	10.891	67.313	1.416	10.891	67.313
5	1.087	8.363	75.676	1.087	8.363	75.676
6	0.890	6.847	82.523			
7	0.667	5.133	87.656			
8	0.554	4.264	91.919			
9	0.433	3.333	95.252			
10	0.330	2.540	97.791			
11	0.118	0.905	98.697			
12	0.106	0.815	99.512			
13	0.063	0.488	100.000			

表7 苦瓜种质资源农艺性状的主成分分析

Table 7 Principal component analysis of agronomic traits of bitter gourd germplasm resources

性状 Trait	主成分 Principal component				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
茎粗 Stem thickness	-0.005	0.081	0.059	-0.042	0.942
节间长 Internode length	0.112	-0.066	0.655	-0.135	0.176
叶长 Leaf length	-0.094	0.883	0.016	0.054	0.155
叶宽 Leaf width	0.045	0.901	-0.178	0.059	-0.043
叶柄长 Petiole length	-0.150	0.534	0.568	0.238	0.223
瓜纵径 Melon vertical diameter	0.089	-0.023	0.923	0.094	-0.136
瓜横径 Melon transverse diameter	0.659	0.070	-0.513	-0.018	0.130
瓜肉厚 Melon flesh thickness	0.727	-0.114	-0.218	0.114	-0.050
单瓜质量 Single fruit mass	0.905	-0.037	0.308	0.001	0.040
瓜形 Fruit shape	-0.090	0.390	0.196	0.624	0.036
瓜皮色 Fruit color	-0.095	0.020	0.083	-0.875	0.121
瘤形 Wart shape	0.176	-0.499	-0.099	0.490	0.271
熟性 Maturity	0.892	-0.074	0.340	-0.006	-0.052

表8 苦瓜种质资源的综合得分

Table 8 Comprehensive score of bitter gourd germplasm resources

编号 No.	综合 得分 Score	排名 Rank	编号 No.	综合 得分 Score	排名 Rank	编号 No.	综合 得分 Score	排名 Rank	编号 No.	综合 得分 Score	排名 Rank	编号 No.	综合 得分 Score	排名 Rank
1	0.784	76	16	0.874	66	31	0.882	64	46	1.088	40	61	1.169	25
2	1.070	43	17	1.167	27	32	1.074	42	47	1.056	45	62	0.895	63
3	0.845	68	18	1.418	8	33	1.631	1	48	1.185	23	63	1.350	12
4	0.911	62	19	0.983	51	34	1.611	3	49	0.776	77	64	1.115	35
5	1.049	46	20	1.100	38	35	0.948	58	50	0.652	85	65	1.112	36
6	0.917	61	21	1.106	37	36	0.952	55	51	1.270	21	66	1.274	20
7	1.266	22	22	1.046	48	37	1.407	9	52	1.170	24	67	0.600	87
8	1.115	34	23	1.163	29	38	1.320	17	53	0.823	73	68	1.068	44
9	0.657	81	24	1.283	19	39	1.331	15	54	1.032	49	69	1.025	50
10	0.656	83	25	0.954	54	40	1.587	6	55	0.833	71	70	1.168	26
11	0.972	53	26	1.142	30	41	0.831	72	56	0.712	79	71	0.759	78
12	1.048	47	27	1.125	32	42	0.804	74	57	0.681	80	72	0.657	82
13	1.076	41	28	1.122	33	43	1.139	31	58	0.876	65	73	1.314	18
14	0.974	52	29	1.098	39	44	1.384	11	59	0.951	56	74	1.164	28
15	0.653	84	30	0.934	59	45	0.604	86	60	0.803	75	75	1.631	2

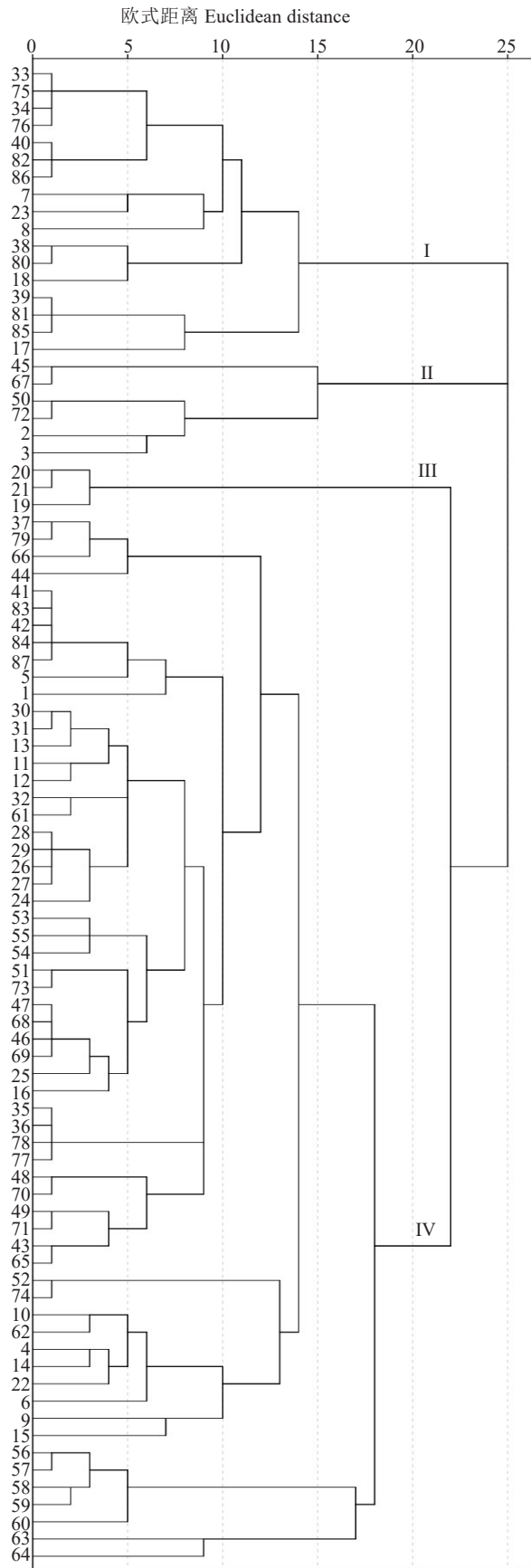


图1 苦瓜种质资源的聚类关系

Fig. 1 Cluster relationship of bitter melon germplasm resources

为 39.64 cm,瓜横径均值为 5.82 cm,瓜肉厚均值为 1.15 cm,单瓜质量均值为 540.51 g;类群 II 包含 6 份种质,占比 6.90%,该类群果实为短纺锤形,瓜皮多为白色、深绿和亮绿,平瘤,多为极早熟种质,瓜纵径均值为 14.57 cm,瓜横径均值为 6.82 cm,瓜肉厚均值为 0.85 cm,单瓜质量均值为 284.30 g;类群 III 包含 3 份种质,占比 3.45%,该类群果实为圆锥形,瓜皮颜色为白色或浅绿色,刺瘤,均为晚熟种质,单瓜质量和瓜肉厚均值最大,分别为 613.66 g 和 1.60 cm,瓜纵径均值为 25.44 cm,瓜横径均值为 7.68 cm;类群 IV 包含 61 份种质,占比 70.11%,该类群果实以长圆锥形为主,瓜皮色主要为绿色,多为晚熟种质,瓜纵径均值为 33.65 cm,瓜横径均值为 5.94 cm,瓜肉厚均值为 1.14 cm,单瓜质量均值为 516.97 g。

2.5 苦瓜种质资源耐冷性评价

由表 11 可知,87 份苦瓜种质资源的冷害指数在 22.50~90.00,其中,耐冷性强的苦瓜种质 9 份,占供试苦瓜种质的 10.34%;耐冷性中的苦瓜种质 59 份,占供试苦瓜种质的 67.82%;耐冷性弱的苦瓜种质 19 份,占供试苦瓜种质的 21.84%。

2.6 优异耐冷苦瓜种质资源筛选

根据耐冷性鉴定结果和综合评价得分结果,从 87 份种质资源中筛选出 3 份优异耐冷种质 2019781259 (34)、2022643867 (40) 和 202409 (75)。其中,苦瓜种质 2019781259 冷害指数为 33.75,耐冷性强,该种质果实为长棒形,瓜皮为绿色,平瘤,晚熟,瓜肉较厚,单瓜质量较大,约为 608 g;2022643867 冷害指数为 22.50,耐冷性强,该种质生长势强,果实为长棒形,瓜皮为白色,平瘤,晚熟,单瓜质量较大,约为 660 g;202409 冷害指数为 26.25,耐冷性强,该种质植株健壮,叶片较大,果实为长棒形,瓜皮为绿色,平瘤,晚熟,单瓜质量较大,约为 616 g。

3 讨论与结论

变异系数和遗传多样性指数是评价资源表型多样性的重要指标,数值越大说明变异幅度越大,遗传背景越丰富,在优异资源的选择方面潜力更大^[14-15]。笔者对 87 份苦瓜材料进行遗传多样性分析,结果表明,苦瓜种质资源遗传多样性丰富,质量性状遗传多样性指数的变化范围在 0.73~1.23,数量性状的遗传多样性指数变化范围为 1.16~2.12,变异系数变化范围为 12.13%~24.23%,且数量性状的变异系数均大于 10.00%,说明数量性状不同类型的种质个体间差异

表9 苦瓜种质资源各类群数量性状特征
Table 9 Quantitative characteristics of various groups in bitter melon germplasm resources

性状 Trait	类群 I Group I		类群 II Group II		类群 III Group III		类群 IV Group IV	
	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%	平均值 Mean	变异系数 CV/%
茎粗 Stem thickness/cm	1.04	15.72	1.11	12.63	0.79	6.85	1.03	13.56
节间长 Internode length/cm	8.19	12.16	6.53	15.15	7.53	1.75	8.16	10.63
叶长 Leaf length/cm	11.55	10.17	11.75	3.38	9.77	7.52	10.80	14.16
叶宽 Leaf width/cm	16.97	15.10	17.30	11.73	16.19	8.70	15.46	18.54
叶柄长 Petiole length/cm	9.54	10.13	8.38	11.61	6.60	2.46	8.24	12.88
瓜纵径 Melon vertical diameter/cm	39.64	20.98	14.57	7.26	25.44	8.45	33.65	14.70
瓜横径 Melon transverse diameter/cm	5.82	16.16	6.82	14.25	7.68	0.99	5.94	11.38
瓜肉厚 Melon flesh thickness/cm	1.15	15.92	0.85	6.74	1.60	3.47	1.14	16.27
单瓜质量 Single fruit mass/g	540.51	17.21	284.30	27.14	613.66	7.20	516.97	21.22

较大,这与关峰等^[16]、李家明等^[17]的研究结论较为一致。

相关性分析可以明确各性状之间的相互关系,本研究结果表明,87份苦瓜资源的13个主要农艺性状之间均存在一定程度的相关性。单瓜质量与瓜纵径、瓜横径、瓜肉厚呈极显著正相关,这与关峰等^[16]、李家明等^[17]的研究结果相似,说明可以通过改良瓜横径、瓜纵径或瓜肉厚来提高苦瓜产量;瓜肉厚与瓜横径呈极显著正相关,与叶柄长呈极显著负相关,这与孙信成等^[18]的研究结果相似,说明可以选择瓜横径较大或叶柄长较小的苦瓜材料来提高瓜肉厚,提高苦瓜商品性。

主成分分析将高维数据转化为低维数据,使数据可视化,进而了解品种之间的差异,提高育种水平^[19-20]。笔者通过主成分分析,将13个主要农艺性状概括为5个主成分,即产量因子、叶形因子,果形因子、果实商品性因子和植株形态因子,这5个主成分的累计贡献率达到75.676%,包含了苦瓜农艺性状的大部分信息,因此可利用这些信息对种质资源进行综合评价。

聚类分析能将种质资源划分为不同的群或类别,有助于管理大规模的遗传资源,使其更易于研究和利用,已成为植物育种、亲缘关系及起源研究、资源利用和分类的常用方法之一^[21-22]。笔者将87份苦瓜种质分为4个类群,类群I包含17份种质,占比19.54%,属长果晚熟型资源;类群II包含6份种质,占比6.90%,属短果早熟型资源;类群III包含3份种质,占比3.45%,属肉厚高产型资源;类群IV包含61份种质,占比70.11%,属高产晚熟型资源。

北方地区栽培苦瓜多采用育苗后移栽的方式进行,种植后容易遭遇冷害,要求品种幼苗期耐冷

性强。笔者以冷害指数作为苦瓜种质耐冷性鉴定的指标,综合考虑农艺性状的各项指标,筛选出3份优异耐冷种质2019781259、2022643867和202409,这3份苦瓜种质耐冷性强,瓜形为钝顶,瓜皮色为绿色或白色,瘤形为平瘤,植株长势强且叶片较大,单瓜质量较大,具有优异的商品性,符合大多数市场的偏好,可作为今后耐冷苦瓜育种的骨干材料。

综上所述,87份苦瓜种质资源具有丰富的遗传多样性,育种潜力巨大,可将单瓜质量、瓜纵径、瓜横径、瓜肉厚作为重要性状进行改良,筛选出的3份优异耐冷种质资源2019781259、2022643867和202409可以进行重点利用,为下一步优异耐冷新品种选育提供种质材料与参考。

参考文献

- 王会,宿秀丽,温海霞,等.不同种植密度对苹果苦瓜产量和商品瓜率的影响[J].湖北农业科学,2022,61(20):79-81.
- 刘子记,刘昭华,牛玉,等.不同苦瓜材料农艺性状调查及白粉病抗性分析[J].北方园艺,2013(19):117-119.
- HAZARIKA R, PARIDA P, NEOG B, et al. Binding energy calculation of GSK-3 protein of human against some anti-diabetic compounds of *Momordica charantia* Linn (bitter melon) [J]. Bio-information, 2012, 8(6): 251-254.
- 周潇恬,罗非君.苦瓜的功能成分和生物活性研究进展[J].现代食品,2020(10):66-71.
- 卢盼玲,金海军,张咏雪,等.不同有机肥处理对土壤特性及苦瓜生长和品质的影响[J].江西农业学报,2023,35(10):34-38.
- 李丽琼,阳世莹,麻继仙,等.85份苦瓜种质资源农艺性状的遗传多样性分析[J].西南农业学报,2023,36(12):2621-2630.
- 程世强,吴智明,曾晶,等.低温胁迫对苦瓜成苗及幼苗生理生化特性的影响[J].热带作物学报,2011,32(11):2099-2103.
- 牛玉,刘子记,刘昭华,等.苦瓜种质资源耐冷性鉴定[J].北方园艺,2017(24):1-6.
- 陈小凤,黄如葵,冯诚诚,等.苦瓜芽期耐冷性鉴定与评价[J].

表 10 苦瓜种质资源各类群质量性状分布频率

Table 10 Frequency distribution of various groups in bitter gourd germplasm resources

性状 Trait	类群 I Group I		类群 II Group II		类群 III Group III		类群 IV Group IV		
	特征 Elite trait	分布频率 Distribution frequency/%	特征 Elite trait	分布频率 Distribution frequency/%	特征 Elite trait	分布频率 Distribution frequency/%	特征 Elite trait	分布频率 Distribution frequency/%	
瓜形 Fruit shape	尖顶 Tapered tip	0.00	尖顶 Tapered tip	0.00	尖顶 Tapered tip	100.00	尖顶 Tapered tip	100.00	
	大顶 Big top	0.00	大顶 Big top	100.00	大顶 Big top	0.00	大顶 Big top	0.00	
	钝顶 Blunt top	100.00	钝顶 Blunt top	0.00	钝顶 Blunt top	0.00	钝顶 Blunt top	0.00	
瓜皮色 Fruit color	白色 White	35.29	白色 White	33.33	白色 White	66.67	白色 White	1.64	
	白绿 White green	0.00	白绿 White green	0.00	白绿 White green	0.00	白绿 White green	3.28	
	浅绿 Light green	11.76	浅绿 Light green	0.00	浅绿 Light green	33.33	浅绿 Light green	0.00	
	绿色 Green	52.94	绿色 Green	0.00	绿色 Green	0.00	绿色 Green	77.05	
	深绿 Dark green	0.00	深绿 Dark green	33.33	深绿 Dark green	0.00	深绿 Dark green	1.64	
	浓绿 Dense green	0.00	浓绿 Dense green	0.00	浓绿 Dense green	0.00	浓绿 Dense green	3.28	
	亮绿 Brilliant green	0.00	亮绿 Brilliant green	33.33	亮绿 Brilliant green	0.00	亮绿 Brilliant green	11.48	
	瘤形 Wart shape	无瘤 No wart	0.00	无瘤 No wart	0.00	无瘤 No wart	0.00	无瘤 No wart	22.95
	平瘤 Flat wart	100.00	平瘤 Flat wart	100.00	平瘤 Flat wart	0.00	平瘤 Flat wart	50.82	
竖瘤 Vertical wart	0.00	竖瘤 Vertical wart	0.00	竖瘤 Vertical wart	0.00	竖瘤 Vertical wart	16.34		
刺瘤 Prickly wart	0.00	刺瘤 Prickly wart	0.00	刺瘤 Prickly wart	100.00	刺瘤 Prickly wart	9.84		
熟性 Maturity	极早熟 Extremely early maturity	0.00	极早熟 Extremely early maturity	66.67	极早熟 Extremely early maturity	0.00	极早熟 Extremely early maturity	3.28	
	早熟 Early maturity	5.88	早熟 Early maturity	33.33	早熟 Early maturity	0.00	早熟 Early maturity	13.11	
	中熟 Medium maturity	29.41	中熟 Medium maturity	0.00	中熟 Medium maturity	0.00	中熟 Medium maturity	29.51	
	晚熟 Late maturity	64.71	晚熟 Late maturity	0.00	晚熟 Late maturity	100.00	晚熟 Late maturity	50.82	
	极晚熟 Extremely late maturity	0.00	极晚熟 Extremely late maturity	0.00	极晚熟 Extremely late maturity	0.00	极晚熟 Extremely late maturity	3.28	

种子,2017,36(1):36-39.

[10] 裘波音,李大忠,林琿,等.52份苦瓜种质种子低温发芽能力鉴定与评价[J].福建农业科技,2023,54(8):1-9.
 [11] 沈镛,李锡香.苦瓜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2008.
 [12] NIU Y, LIU Z J, LIU Z H, et al. Identification and evaluation of cold tolerance in bitter gourd (*Momordica charantia* L.) at bud and seeding stages under different temperature conditions[J].

Agricultural Biotechnology,2018,7(4):43-47.

[13] 牛玉,刘子记,于仁波,等.30个苦瓜杂交组合耐冷性鉴定及品种比较试验[J].长江蔬菜,2021(10):59-63.
 [14] 梁森苗,张淑文,郑锡良,等.杨梅生长指标与果实品质间的相关性分析[J].核农学报,2019,33(4):751-758.
 [15] 张馨方,张树航,李颖,等.燕山板栗品种资源坚果表型多样性分析及评价[J].植物遗传资源学报,2025,26(3):554-565.
 [16] 关峰,万新建,张景云,等.苦瓜种质资源遗传多样性分析及抗

表 11 苦瓜种质资源耐冷性鉴定结果

Table 11 Cold tolerance identification results of bitter melon germplasm resources

编号 No.	冷害指数 Chilling injury index	耐冷性 Chilling tolerance	编号 No.	冷害指数 Chilling injury index	耐冷性 Chilling tolerance	编号 No.	冷害指数 Chilling injury index	耐冷性 Chilling tolerance
1	72.50	弱 Weak	30	81.25	弱 Weak	59	50.00	中 Moderate
2	57.50	中 Moderate	31	72.50	弱 Weak	60	46.25	中 Moderate
3	55.00	中 Moderate	32	66.25	弱 Weak	61	55.00	中 Moderate
4	57.50	中 Moderate	33	35.00	中 Moderate	62	55.00	中 Moderate
5	52.50	中 Moderate	34	33.75	强 Strong	63	42.50	中 Moderate
6	51.25	中 Moderate	35	53.75	中 Moderate	64	55.00	中 Moderate
7	56.25	中 Moderate	36	31.25	强 Strong	65	36.25	中 Moderate
8	28.75	强 Strong	37	56.25	中 Moderate	66	46.25	中 Moderate
9	47.50	中 Moderate	38	57.50	中 Moderate	67	68.75	弱 Weak
10	35.00	中 Moderate	39	76.25	弱 Weak	68	57.50	中 Moderate
11	53.75	中 Moderate	40	22.50	强 Strong	69	70.00	弱 Weak
12	28.75	强 Strong	41	58.75	中 Moderate	70	68.75	弱 Weak
13	46.25	中 Moderate	42	48.75	中 Moderate	71	56.25	中 Moderate
14	55.00	中 Moderate	43	62.50	中 Moderate	72	53.75	中 Moderate
15	37.50	中 Moderate	44	70.00	弱 Weak	73	71.25	弱 Weak
16	31.25	强 Strong	45	65.00	中 Moderate	74	60.00	中 Moderate
17	46.25	中 Moderate	46	61.25	中 Moderate	75	26.25	强 Strong
18	55.00	中 Moderate	47	90.00	弱 Weak	76	41.25	中 Moderate
19	52.50	中 Moderate	48	81.25	弱 Weak	77	66.25	弱 Weak
20	61.25	中 Moderate	49	57.50	中 Moderate	78	61.25	中 Moderate
21	38.75	中 Moderate	50	55.00	中 Moderate	79	62.50	中 Moderate
22	41.25	中 Moderate	51	58.75	中 Moderate	80	72.50	弱 Weak
23	38.75	中 Moderate	52	56.25	中 Moderate	81	68.75	弱 Weak
24	78.75	弱 Weak	53	46.25	中 Moderate	82	36.25	中 Moderate
25	72.50	弱 Weak	54	40.00	中 Moderate	83	51.25	中 Moderate
26	68.75	弱 Weak	55	35.00	中 Moderate	84	48.75	中 Moderate
27	46.25	中 Moderate	56	46.25	中 Moderate	85	51.25	中 Moderate
28	36.25	中 Moderate	57	26.25	强 Strong	86	37.50	中 Moderate
29	66.25	弱 Weak	58	60.00	中 Moderate	87	33.75	强 Strong

枯萎病种质筛选[J].南方农业学报,2022,53(3):585-595.

- [17] 李家明,李洪龙,黄则栋,等.夏季高温环境下苦瓜种质资源农艺性状的综合评价[J].南方农业学报,2020,51(10):2488-2497.
- [18] 孙信成,左丽芬,张忠武,等.26份苦瓜(*Momordica charantia* L.)种质资源农艺性状的评价及遗传多样性分析[J/OL].分子植物育种,1-17[2024-05-10].<https://link.cnki.net/urlid/46.1068.s.20240510.1112.004>.

- [19] 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.
- [20] 王荣,董邵云,刘小萍,等.黄瓜种质资源果实性状遗传多样性分析[J].中国瓜菜,2024,37(7):20-28.
- [21] 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.
- [22] 张小利,朱灵龙,李付振,等.115份花生种质资源农艺与品质性状鉴评及分析[J].浙江农业学报,2023,35(9):2033-2044.