

优良紫橙色大白菜自交系性状变异及其相关性分析

包永蓉¹, 马世庚¹, 毛梦婷¹, 龚颖¹, 张鲁刚^{1,2}, 聂姗姗¹

(1. 西北农林科技大学园艺学院 陕西杨凌 712100; 2. 潍坊现代农业山东省实验室 山东潍坊 261000)

摘要: 为了促进紫橙色大白菜快速发展, 为种质创新和品种选育提供参考, 以 34 份优良紫橙色大白菜为试材, 开展了农艺性状表型鉴定、遗传变异分析、相关性分析及 SSR 遗传多样性分析, 比较了表型性状和主成分聚类、分子标记聚类结果的一致性。结果表明, 19 个数量性状的变异系数在 11.21%~81.03% 之间, 其中叶球纵径的变异系数最大, 表明叶球高低的育种潜力较大; 16 个质量性状的变异系数在 0~56.30% 之间, 其中子叶颜色的变异系数最大, 其次是外叶颜色, 同时叶缘波状、光泽度、中肋颜色、叶脉鲜亮度、苗期叶脉紫色的变异系数均大于 34%, 表明具有较大的品种外观改良潜力。相关性分析表明, 叶球高度、叶球横径、最大外叶长、最大外叶宽、短缩茎长、中肋长、外叶数是影响毛质量和净质量的主要相关性状, 同时内叶数对净质量有重要影响。聚类分析结果表明, 表型性状聚类与主成分聚类结果吻合率为 55.9%, 表型性状聚类与 SSR 分子标记聚类的结果一致性较低。因此, 在进行作物种质资源鉴定评价中应该综合考虑表型变异和 SSR 标记两种结果。

关键词: 紫橙色大白菜; 农艺性状; SSR 分子标记; 主成分分析

中图分类号: S634.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)08-052-15

Analysis of trait variation and their correlations in purple-orange Chinese cabbage inbred lines

BAO Yongrong¹, MA Shigeng¹, MAO Mengting¹, GONG Ying¹, ZHANG Lugang^{1,2}, NIE Shanshan¹

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Shandong Laboratory of Advanced Agricultural Sciences in Weifang, Weifang 261000, Shandong, China)

Abstract: In order to promote the development of purple-orange Chinese cabbage and provide reference for variety breeding and germplasm resource innovation of purple-orange Chinese cabbage, the 35 horticulture traits of 34 purple-orange Chinese cabbage samples were investigated on phenotypic identification of horticultural traits, genetic variation, correlation analysis, and SSR genetic diversity analysis. The consistency between the clustering results of the phenotypic traits and principal components, as well as molecular was compared. The results are as follows: The coefficient of variation of 19 quantitative traits ranged from 11.21% to 81.03%, with the highest coefficient of variation observed in the longitudinal diameter of leafy head, indicating a significant breeding potential for leafy head height; The coefficient of variation for 16 quality traits ranges from 0 to 56.30%, with the highest coefficient of variation for cotyledon color, followed by outer leaf color. Meanwhile, the coefficients of variation for leaf margin curvature, glossiness, midrib color, leaf vein freshness, and leaf vein purple at the seedling stage were all greater than 34%, indicating that the pure lines had high potential for appearance improvement. Relevant analysis showed that the leaf head height, leaf head width, length of the biggest outer leaf, width of the biggest outer leaf, length of shorted stem, the length of the middle rib and the number of outer leaves are the main related traits affecting plant gross mass and head mass. At the same time, the number of heading leaves have a significant impact on head mass. Cluster analysis showed that the results of phenotypic trait clustering were 55.9% consistent with principal component clustering, and the results of phenotypic trait clustering and SSR molecular marker clustering were hardly consistent. Therefore, phenotypic variation and SSR markers should be considered in the identification and evaluation of crop germplasm resources.

Key words: Purple-orange Chinese cabbage; Agronomic character; SSR molecular marker; Principal component analysis

收稿日期: 2024-12-09; 修回日期: 2025-02-27

基金项目: 杨凌种业创新中心重点研发计划(Ylzy-sc-04); 陕西省重点研发计划(2023-YBNY-078)

作者简介: 包永蓉, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为农艺与种业。E-mail: 609423169@qq.com

通信作者: 聂姗姗, 女, 副教授, 研究方向大白菜遗传育种与分子生物学。E-mail: niess@nwafu.edu.cn

张鲁刚, 男, 教授, 主要从事大白菜种质资源鉴定及遗传育种研究。E-mail: lugangzh@163.com

大白菜(*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*)是一种重要的叶用蔬菜,是人体矿物质营养、粗纤维和维生素的重要来源,是我国最常见最受欢迎的蔬菜之一,在我国蔬菜供应中占有极其重要的地位。随着消费水平的提升,人们对健康的重视程度日益提高,消费者对多样化口味和营养价值的需求也随之增加。传统大白菜中不含类胡萝卜素和花青素物质,这两种物质不仅都是重要的抗氧化剂, β -类胡萝卜素还是人体必需的物质-维生素 A 的主要来源,花青素还有助于预防癌症、心脏病,增强免疫系统能力,但这两种物质人体都无法自身合成,因此含有类胡萝卜素或花青素的“国民菜”逐渐成为育种家新的育种目标。

1989 年,日本育种家育成 Orange Queen 橙色大白菜新品种后^[1],大白菜的球色育种就此拉开序幕,经过国内育种家的不断努力,相继培育出橙色大白菜北京桔红心新品系^[2]和金冠 1 号^[3]等新品种,并在 2003 年首次出现了彩色大白菜的概念^[4]。为了丰富大白菜叶球颜色,孙日飞等^[5]利用紫色芥菜与大白菜杂交,开展了紫红色大白菜种质的创新研究。张鲁刚等^[6]、段岩娇等^[7]利用紫菜薹与大白菜杂交,经过连续选择,育成外叶绿色、球叶紫色的紫心大白菜种质资源,并进行了花青素组分分析及相关基因的克隆与功能验证^[8-10]。张德双等^[9]报道了来自紫色芥菜的紫色大白菜 15NG28 新材料。张鲁刚等^[10]以橙色大白菜为母本、紫心大白菜为父本进行杂交,通过对 F₁ 代连续自交育成了同时含有类胡萝卜素和花青素的紫橙色大白菜新种质^[11-13],进一步拓展了彩色大白菜的育种理念。

农艺性状具有直观、经济、便于观察及与作物的生产直接关联等特点,是重要的作物评价指标。刘来福^[13]在国内首次提出利用主成分遗传距离分析亲本间的差异。利用主成分分析和聚类分析对表型性状进行评价,在黄秋葵^[14]、南瓜^[15]、大蒜^[16]、大豆^[17]、辣椒^[18]、马铃薯^[19]等园艺作物研究中得到应用,孟淑春等^[20]、刘永莉等^[21]、韩睿等^[22]、肖艳等^[23]、魏书洞等^[24]分别对大白菜种质进行了表型性状调查和多样性分析。

随着生物技术的发展,人们针对作物的基因型开发了各种类型的分子标记进行表征,以弥补传统选育方法的缺陷。分子标记在育种方面的应用日益广泛,逐渐应用于大规模开发的 F₁ 代杂交品种的筛选过程中,显著缩短了育种年限^[25]。目前,常用的分子标记有 RAPD、AFLP、SSR 和 SRAP 等。SSR 分子标记具有多态性丰富、重复性好、结果可靠的

特点,已广泛应用于园艺作物遗传多样性分析,但在紫橙色大白菜种质资源的研究中报道较少。鉴于此,笔者针对性状稳定的 34 份优良紫橙色大白菜自交系,在表型性状鉴定、变异分析及其相关性分析的基础上,利用 28 对 SSR 核心标记^[26]进行遗传多样性分析,比较表型性状和主成分聚类、分子标记聚类结果的一致性,旨在从分子水平和农艺性状水平上明确紫橙色大白菜的遗传多样性和性状相关性,以期对紫橙色大白菜种质创新和品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料 34 份,均为西北农林科技大学园艺学院十字花科课题组选育的紫橙色大白菜自交系(表 1),试验所用材料均为课题组自行繁种。试验材料于 2022 年 8 月播种,9 月定植于西北农林科技大学杨凌农业综合试验示范站,采用随机区组法进行小区定植,株行距为 40 cm×50 cm,2 行 20 株,2 次重复,常规栽培管理。2023 年秋季重复田间试验。

1.2 农艺性状观测方法

紫橙色大白菜表型性状的观测方法主要以《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南-大白菜》^[26]为参考标准,增加了叶球紫心面积、苗期叶脉紫色性状,在球内颜色中增加了紫橙色,在中肋颜色中增加了绿紫性状。结合田间实际情况,观察记录不同材料在幼苗期、莲座期、结球期以及收获期的性状表现。在表型观测时,每种材料选取长势一致的 10 株进行观察。在测量数量性状时,进一步选取 3 株长势一致的植株利用直尺进行测量。紫橙色大白菜叶球内紫心面积利用 ImageJ 进行面积测量。

1.3 SSR 标记

采用改良的 CTAB 法提取基因组 DNA^[27]。PCR 反应所使用的 28 对 SSR 引物多态性良好、且平均分布在 10 条染色体上^[28],引物序列信息见表 2,引物由生工生物工程(上海)股份有限公司合成。

PCR 反应体系为 10 μ L,包括 DNA 模板(200 mg·L⁻¹) 1 μ L,正向引物 0.5 μ L,反向引物 0.5 μ L, Mix 5 μ L 和 ddH₂O 3 μ L。扩增程序:94 $^{\circ}$ C 预变性 4 min,94 $^{\circ}$ C 变性 30 s,53 $^{\circ}$ C 复性 30 s,72 $^{\circ}$ C 延伸 30 s,共 30 个循环,72 $^{\circ}$ C 延伸 10 min;4 $^{\circ}$ C 保存。扩增产物在 120 g·L⁻¹ 聚丙烯酰胺凝胶中电泳分离,(电压 220 V,电流 120 mA,时间 1.5 h),对电泳产物进行

表 1 供试紫橙色大白菜自交系
Table 1 Purple-orange Chinese cabbage inbred lines for testing

编号 Number	自交系 代号 ILN	外叶颜色 Outer leaf color	叶球抱合类型 Holding type of leafy head	球形 Head shape	编号 Number	自交系 代号 ILN	外叶颜色 Outer leaf color	叶球抱合类型 Holding type of leafy head	球形 Head shape
1	23ZC13-1	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	18	23ZS11-1	绿 Green	合抱 Closed holding	炮弹 Cusp shape
2	23ZS12-3	黄绿 Yellowish green	合抱 Closed holding	筒形 Cylindrical	19	23ZC16-5	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
3	23ZS20-3	绿 Green	叠抱 Overlapping	筒形 Cylindrical	20	23ZC19-2	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
4	23ZS31-1	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	21	23ZC20-3	绿 Green	合抱 Closed holding	头球 Globular
5	23ZS35-1	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	22	23ZC20-4	黄绿 Yellowish green	合抱 Closed holding	头球 Globular
6	23ZS36-1	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	23	23ZC22-4	绿 Green	合抱 Closed holding	头球 Globular
7	23ZS49-4	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	24	23ZC25-2	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
8	23ZS49-5	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	25	23ZC25-10	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
9	23ZC3-3	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	26	23ZC26-3	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
10	23ZC7-3	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	筒形 Cylindrical	27	23ZC28-4	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
11	23ZC44-3	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	28	23ZC31-2	深绿 Dark green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
12	23ZC81-1	深绿 Dark green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	29	23ZS7-4	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
13	23ZC2-3	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	30	23ZS7-1	绿 Green	叠抱 Overlapping	小头球 Small globular
14	23ZC9-1	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	31	23ZS146	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
15	23ZC11-1	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	32	23ZS115-3	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	头球 Globular
16	23ZC12-1	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	33	23ZS115-2	深绿 Dark green	叠抱 Overlapping	长筒形 Long cylindrical
17	23ZC12-4	绿 Green	叠抱 Overlapping	头球 Globular	34	23ZS155-1	黄绿 Yellowish green	叠抱 Overlapping	小头球 Small globular

银染并拍照。

1.4 数据分析

参照《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南-大白菜》^[26]中每个农艺性状的对应状态所表示的数字代码对供试材料的农艺性状进行赋值(表 3),数量性状赋值标准具体如表 4 所示。利用 SPSS 软件计算农艺性状的频率分布和变异系数;利用 PopGene32 软件对 SSR 数据进行遗传多样性统计,计算观测等位基因数(N_a)、有效等位基因数(N_e)、Nei's 基因多样性指数(H)、Shannon's 多样性信息指数(I);利用 NTSYS2.1 软件 SHAN 程序中的非加权平均法(UPGMA)对 34 份紫橙色大白菜

自交系材料进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 农艺性状表型变异分析

对 34 份紫橙色大白菜的 35 个表型性状进行观察测量,其中包括 19 个数量性状,16 个质量性状。结果如表 5 所示,紫橙色大白菜的农艺性状变异系数在 0~81.03%之间,表现出不同程度的多样性。19 个数量性状的变异系数在 11.21%~81.03%之间,其中叶球高度的变异系数最大,占比最多的是极矮类型,其次是茸毛密度(58.43%)、株高(58.14%),其余几个数量性状的变异系数在 11.21%~32.19%之间。

表 2 核心引物连锁群及序列

Table 2 Core primer linkage groups and sequences

连锁群 Linkage group	序列(5'-3')Primer sequence(5'-3')	连锁群 Linkage group	序列(5'-3')Primer sequence(5'-3')
A01-1	F:GGCTTTAGCACTGTGATCCT R:TTGGGAGAGAAACTATACG	A06-1	F:TTTCTGAATCACACTTCCTTG R:TTCAACATCTTCCATCAAAGT
A01-2	F:AAACGGCTTGCATTGTTCTC R:GGCTTGCTTGATCCAGTCTC	A06-2	F:GGAAGCCTCTGTGCGAAAAA R:TGCCGACGATTTGATAGAGGA
A01-3	F:AATTTAAACCTCATTTTCTTC R:ACCTCCATTGTGTCTGAT	A06-3	F:GGCACGTACATGGAGGATTC R:TGTTGGTCGAGCTGTTTCAG
A02-1	F:CCCTTTTCCCCTTCTATTGG R:GTGCGACTTGGAATTTCTCC	A07-1	F:GGCATAATCACCATTAAACCCG R:AGACCAGAGTGCTTGTAGGA
A02-2	F:GAAGAAAGTGGCGCTTCAA R:CTTAGCAGAGAGCAACCATC	A07-2	F:GCTGCCTAATAGGGTGCTTG R:AGAGCGCATTCAAGTCTGGT
A02-3	F:CTGGTGATGGAGACGCTATTA R:ACTGTCCCAAACCGCCTCTC	A07-3	F:AGAGTACCTCTCTGGCAAGTC R:AGACAGAAGGGTTTTGTTTTT
A03-1	F:GCGATGTTTTTTCTTCAGTGTC R:TTAATCCCTACCCACAATTTCC	A08-1	F:GCAAAGATCGGCGAAGAAGA R:TGCAGACACATTCGAACAAACA
A03-2	F:CATGTCGTCTTCTTTGCTG R:CTTTTGCTTGAGCTTTGTGT	A08-2	F:AGAGAGATCGAGATCCACAA R:GGCGAGAAAGTTAGTTGCTA
A03-3	F:TCAAGCATGTCCTTAAACTCTGA R:GCGTTCACGTTTCCCATATC	A08-3	F:CCTCTTTTAATTCAAACAAGAAATCA R:TTCGGACAATGGCAGTGATA
A04-1	F:CCAGATCTCACAATTTCAATC R:TCTTAACTGGTCGCTGAACT	A09-1	F:CATCAACCAGCAATGAAA R:TTGGAAGGTCAAGAAGGT
A04-2	F:CTTCCAGTAGCCATTGTTGA R:ATCGGGTTTTATACTCTTGAA	A09-2	F:TTACATCTTCTTCATCTTCC R:TTGCTATTCGTTCTCAGTCTC
A05-1	F:GATCAAATAACGAACGGAGAGA R:GAGCCAAGAAAGGACCTAAGAT	A09-3	F:AAAGGACAAAGAGGAAGGGC R:TTGAAATCAAATGAGAGTGACG
A05-2	F:ACTTCTCTTATTCACTTCCCA R:GAGGGTGGGTTGGTTCAAT	A010-1	F:TCTTTCTTCTCTCCGTCGT R:AAGGGGAATTGAGTAAAGCTA
A05-3	F:CAACTCTAACGAACGAGAGC R:CATGTATTCTGCGTGAAGTG	A010-2	F:CCAAGATGATGCAGATACATT R:TGATCTTATATGCCCTTTTGA

说明紫橙色大白菜种质中叶球高度和株高的变异更为丰富。16 个质量性状的变异系数在 0~56.30% 之间,其中变异系数最大的是子叶颜色,其次是外叶颜色(51.08%),此外,在质量性状中叶缘波状(41.90%)、光泽度(41.28%)、外叶中肋颜色(39.16%)、叶脉鲜明度(34.86%)、叶球花蕾(34.86%)、苗期叶脉紫色(35.85%)的变异系数均大于 34%,说明这些质量性状在紫橙色大白菜中的差异较大,具有较大的品种改良潜力,另外叶缘锯齿和内叶颜色为单一性状。

2.2 农艺性状相关性分析

由于叶缘锯齿和叶球内叶颜色是单一形状,因此笔者对除二者以外的 19 个数量性状和 14 个质量性状进行相关性分析(表 6、表 7),pearson 相关系数分析发现,在 0.05 水平上,19 个数量性状间存在 12 对正相关或负相关关系。在 0.01 水平上,株高、

外叶数、内叶紫心面积、茸毛密度与其他性状无极显著相关关系;株幅与内叶数呈极显著正相关;毛质量与外叶数、净质量、叶球高度、最大外叶长、最大外叶宽、中肋长和短缩茎长均呈极显著正相关;净质量与叶球高度、最大外叶长、最大外叶宽、中肋长和短缩茎长均呈极显著正相关;叶球高度与最大外叶长、最大外叶宽和中肋长均呈极显著正相关;叶球横径与最大外叶长和中肋长呈极显著正相关;最大外叶长与最大外叶宽和中肋长呈极显著正相关;最大外叶宽与中肋长呈极显著正相关;内叶数与短缩茎长呈极显著正相关;短缩茎长与子叶面积呈极显著负相关;收获期与泡状突起数量呈极显著负相关。由此可见,叶球高度、叶球横径、最大外叶长、最大外叶宽、短缩茎长、中肋长、外叶数是影响毛质量和净质量的主要相关性状,同时内叶数对净质量有重要影响。

表 3 农艺性状赋值标准
Table 3 Assigning standard of agronomic traits

性状 Trait	标准 Standard							
	1	2	3	4	5	6	7	9
子叶颜色 Cotyledon color	黄绿色 Yellowish green	浅绿色 Light green	绿色 Green	深绿色 Dark green				
抗病性 Disease resistance	高抗病 High resistance		抗病 Resistance		低抗病 Low resistance		感病 Susceptible	高感病 Highly susceptible
外叶颜色 Outer leaf color	黄绿色 Yellowish green	浅绿色 Light green	绿色 Green	深绿色 Dark green				
生长习性 Growth habit	直立 Upright	半直立 Semi-upright	平展 Spreading					
光泽度 Glossiness			弱 Weak		中 Medium		强 Strong	
叶缘波状 Waveform of leaf margin			弱 Weak		中 Medium		强 Strong	
叶缘锯齿 Leaf margin sawtooth	全缘 Entire	圆齿 Crenation	锯齿 Serration					
叶脉鲜明度 Vein distinctness	不明显 Obscure	明显 Obvious						
球形 Head shape	球形 Spherical	头球形 Globular	筒形 Cylindrical	长筒形 Long cylindrical	炮弹形 Cusp shape			
抱合类型 Holding type	拧抱 Twist holding	合抱 Closed holding	叠抱 Overlapping					
叶球顶部形状 Top shape of leaf head	尖 Pointed shape	圆 Circular	平 Flat					
短缩茎形状 Stubby stem shapes	扁圆形 Oblate circle	圆形 Round	长圆形 Elongated round	锥形 Tapered				
苗期叶脉紫色 Purple veins of seedling	无 None	有 Have						
内叶颜色 Inner leaf color	白色 White	浅黄色 Light yellow	黄色 Yellow	橙色 Orange	紫心 Purple	紫橙色 Purple-orange		
外叶中肋颜色 Petiole color of outer leaf	白色 White	绿白色 Green-white	浅绿色 Light green	绿色 Green	绿紫 Green-purple			
叶球花蕾 Leafy head bolting	无 None	有 Have						

在 0.05 水平上,有 9 对质量性状间呈显著正相关或负相关关系。在 0.01 水平上,仅仅 7 对性状间呈极显著相关性,子叶颜色与外叶颜色和叶球顶部形状呈极显著正相关,与球形呈极显著负相关;生长习性与苗期叶脉紫色呈极显著正相关;光泽度与叶缘波状呈极显著正相关;叶缘波状与苗期叶脉紫色呈极显著正相关;球形与叶球顶部形状呈极显著正相关。这些相关性可为植物育种和遗传改良提供有价值的参考信息。然而,要准确揭示这些相关性背后的具体机制,还需要进一步的研究和试验验证。

2.3 农艺性状聚类分析

利用 Excel、Origin 2021 软件对 35 个表型性状数据进行标准化处理,采用 Ward 法对 34 份紫橙色大白菜进行表型聚类。聚类结果如图 1 和图 2 所示,在欧式距离为 56 时,将 34 份材料分为 4 个类群,类群区分明显:第 I、II、III 类群中包含的 30 份材料大部分为头球,其中第 I 类群中包含的 16 份材料主要为头球型中熟大白菜;第 II 类群中包含的 6 份材料,主要表现为头球型中晚熟大白菜;第 III 类群包含 8 份材料,性状多样性丰富,收获期表现不一

表 4 数量性状分级标准
Table 4 Classification standards of quantitative traits

性状 Trait	分级 Class				
	1	3	5	7	9
株高 Plant height/cm	21.69	25.54	31.38	35.23	39.07
株幅 Plant width/cm		51.01	55.14	62.98	
毛质量 Gross mass/kg		1.96	2.85	3.26	
外叶数 Number of outer leaf		8.49	9.85	11.22	
净质量 Net mass/kg		1.21	1.50	1.78	
叶球高度 Leafy head height/cm	21.92	26.10	30.28	34.47	38.65
叶球横径 Leafy head diameter transversa/cm		16.37	18.66	20.96	
最大外叶长 Max outer leaf length /cm		38.25	42.66	47.07	
最大外叶宽 Max outer leaf width/cm		23.69	26.42	29.16	
中肋长 Petiole length/cm		18.32	20.93	23.54	
中肋宽 Petiole width/cm		5.41	6.11	6.82	
中肋厚 Petiole thickness/cm		1.02	1.22	1.42	
内叶数 Number of inner leaf		14.39	17.17	19.95	
短缩茎长 Stubby stem length/cm		3.91	4.68	5.44	
内叶紫心面积 Purple core area of inner leaf/cm ²		41.21	68.46	95.71	
子叶面积 Cotyledon area/cm ²		15.47	18.44	21.41	
收获期 Harvest period/d	5.50	6.87	8.24	9.61	10.98
茸毛密度 Pubescence density/(hairs·cm ²)	0	1.14	2.76	4.38	
泡状突起数量 Number of bubble/(No.·cm ²)		2.36	3.14	3.93	

注:分级标准 1 级 $\leq X - 2\delta$, 10 级 $> X + 2\delta$, 中间每级相差 0.5δ , 其中 X 为各性状平均值, δ 为标准差。
Note: The grading standard as follows: Grade 1 $\leq X - 2\delta$, Grade 10 $> X + 2\delta$, with each intermediate grade differing by 0.5δ , where X represents the mean value of each trait and δ represents the standard deviation.

致,有中熟、晚熟、极晚熟;第IV类群中包含的4份材料为中熟材料。其中23ZS11-1为半直立炮弹形大白菜,23ZC7-3、23ZC28-4为直立或半直立头球偏筒形大白菜,23ZS115-2为平展长筒形大白菜。

2.4 主成分分析

主成分分析(PCA)的原理是将多维数据通过降维的方式构建较少的主成分,从而从大量数据中发现少数关键因子。笔者对34份紫橙色大白菜的32个农艺性状分两组分别进行了主成分分析。19个数量性状PCA的前5个主成分的累计贡献率为66.22%(表8)。PC1的贡献率最高25.11%,其次是PC2、PC3、PC4以及PC5,特征值分别为2.556、2.223、1.666、1.365,贡献率分别为13.46%、11.70%、8.77%和7.18%。除了PC1外,其他4个主成分代表的变异成分逐渐变小、但差异不显著,说明19个数量性状分布比较分散、维度较多,其前5个维度形成5个特征因子,具体如下:PC1中毛质量、净质量、叶球高度、最大外叶长、中肋长的荷载较高,这表明PC1中包含的参数综合反映了紫橙色大白菜整体植株数量性状的信息,称为综合因子;PC2中净质量、叶球内叶数、短缩茎长有较大的积极贡献,

这说明PC2中包含的主要参数是代表紫橙色大白菜叶球质量和球叶相关的信息,称为叶球因子。PC3中包含的主要参数中,株高、株幅和子叶面积的荷载较高,说明PC3代表的是紫橙色大白菜的生长信息,称为生长因子。PC4中内叶紫心面积的荷载较高,说明PC4代表的是紫橙色大白菜的叶片面积信息,称为面积因子;PC5中中肋厚的荷载较高,称为叶肋因子。

14个质量性状的前5个主成分的累计贡献率为71.09%(表9)。PC1的贡献率最高为21.93%,其次是PC2、PC3、PC4以及PC5,贡献率分别为17.02%、13.42%、10.99%、7.74%。PC1中子叶颜色、叶缘波状、叶脉鲜明度、球形、外叶中肋颜色、苗期叶脉紫色的荷载较高,外叶颜色、生长习性、光泽度的荷载适中,说明PC1主要代表的是紫橙色大白菜形态方面的综合信息,称为综合因子;PC2中外叶颜色的荷载较高,说明PC2主要与紫橙色大白菜的色泽相关,称为颜色因子;PC3中球形、抱合类型、叶球顶部形状的荷载较高,说明PC3主要与紫橙色大白菜结球期的性状相关,称为叶球因子;PC4中生长习性的荷载较高,说明PC4主要反应紫橙色大

表 5 34 份紫橙色大白菜农艺性状分布频率、变异系数及遗传多样性指数

Table 5 Distribution frequency, coefficient of variation and genetic diversity index of agronomic traits of thirty-four purple-orange Chinese cabbages

性状 Trait	分布频率 Frequency/%								变异系数 CV/%	多样性指数 Diversity index
	1	2	3	4	5	6	7	9		
泡状突起数量 Number of bubble			47.06		41.18		11.76		32.19	0.95
株高 Plant height	79.41		20.59						58.14	1.61
株幅 Plant width			26.47		58.82		14.71		26.88	1.92
毛质量 Gross mass			47.06		44.12		8.82		30.00	1.23
外叶数 Number of outer leaf			97.06		2.94				11.21	1.88
净质量 Net mass			32.35		67.65				21.82	1.93
叶球高度 Leafy head height	73.53		20.59		2.94		20.59		81.03	1.95
叶球横径 Leafy head transverse diameter			76.47		23.53				24.81	2.06
最大外叶长 Max outer leaf length			11.76		44.12		44.12		24.23	1.79
最大外叶宽 Max outer leaf width			26.47		58.82		14.71		26.88	1.91
内叶数 Number of inner leaf			26.47		44.12		29.41		29.98	1.95
中肋长 Petiole length			26.47		55.88		20.59		27.26	1.83
中肋宽 Petiole width			5.88		73.53		20.59		18.91	1.99
中肋厚 Petiole thickness			11.76		88.24				13.73	1.57
短缩茎长 Stubby stem length			58.82		41.18				26.13	2.03
子叶面积 Cotyledon area					41.18		58.82		16.18	0.79
茸毛密度 Pubescence density	38.24		35.29		26.47				58.43	1.08
收获期 Harvest period			5.88		85.29		2.94	5.88	22.04	0.54
内叶紫心面积 Purple core area of inner leaf			20.59		61.76		17.65		25.38	0.93
子叶颜色 Cotyledon color	64.71	23.53	5.88	5.88					56.30	1.05
抗病性 Disease resistance			88.24		8.82		2.94		26.45	0.40
外叶颜色 Outer leaf color	47.06	44.12		8.82					51.08	0.93
生长习性 Growth habits	2.94	85.29	8.82	2.94					22.56	0.52
光泽度 Glossiness			75.68				23.53		41.28	0.74
叶缘波状 Waveform of leaf margin			61.76		8.82		29.41		41.90	0.91
叶缘锯齿 Leaf margin sawtooth	100.00								0.00	0.00
叶脉鲜明度 Vein distinctness	76.47	23.53							34.86	0.55
球形 Head shape		91.18	2.94	2.94	2.94				28.77	0.29
抱合类型 Holding type			88.24	11.76					11.35	0.36
顶部形状 Top shape	2.94	58.82	26.47						22.19	0.77
外叶中肋颜色 Petiole color of outer leaf	5.88	44.12	35.29	2.94	11.76				39.16	1.23
短缩茎形状 Stubby stem shape	5.88	8.82	23.53		61.76				29.26	1.06
叶球花蕾 Leafy head bolting	76.47	23.53						23.53	34.86	0.52
内叶颜色 Core color of inner						100.00			0.00	0.00
苗期叶脉紫色 Purple veins of seedling	64.71	35.29							35.85	0.65

白菜的生长情况,成为生长因子;PC5 中短缩茎形状的载荷较高,说明 PC5 与紫橙色大白菜的抽薹性状相关,称为抽薹因子。

按质量性状和数量性状的前 5 个主成分的得分情况对 34 份紫橙色大白菜进行聚类,发现在欧式距离 4.6 处分为 4 个类群(图 3),第Ⅰ类群包含 7 份材料,为中晚熟头球近筒形大白菜;第Ⅱ类群包含 11 份材料,为中熟头球型大白菜;第Ⅲ类群包含 7 份材料,为中熟头球或筒形大白菜;第Ⅳ类群包含 9

份材料,大部分为中熟头球型大白菜,但 23ZS7-4 为早熟头球型大白菜,23ZC9-1 为极晚熟头球型大白菜。由此可以看出,按 PC 值的聚类结果类群划分明显,说明主成分分析进一步加大了材料之间的差异,有利于材料分类管理。表型性状聚类与主成分聚类结果的吻合率为 55.9%。

2.5 SSR 标记聚类分析

以 34 份紫橙色大白菜自交系 DNA 为模板,使用 28 对多态性丰富的引物对其进行特异性扩增,

表 6 19 个数量性状的相关性分析

Table 6 Correlation analysis of nineteen quantitative traits

指标 Index	株高 Plant height	株幅 Plant width	毛质量 Gross mass	外叶数 Number of outer leaf	净质量 Net mass	叶球高度 Leafy head height	叶球横径 Leafy head transversa diameter	最大外叶长 Max outer leaf length	最大外叶宽 Max outer leaf width	中肋长 Petiole length	中肋宽 Petiole width	中肋厚 Petiole thickness	内叶紫心面积 Purple core area of inner leaf	子叶面积 Cotyledon area	收获期 Harvest period	茸毛密度 Pubescence density	泡状突起数量 Number of bubble
株高 Plant height	1																
株幅 Plant width	0.292	1															
毛质量 Gross mass	-0.024	0.072	1														
外叶数 Number of outer leaf	-0.025	-0.097	0.565**	1													
净质量 Net mass	-0.015	0.245	0.887**	0.410*	1												
叶球高度 Leafy head height	-0.097	-0.066	0.441**	0.390*	0.482**	1											
叶球横径 Leafy head diameter	0.345*	0.175	0.304	0.165	0.316	0.433*	1										
最大外叶长 Max outer leaf length	0.036	-0.003	0.490**	0.166	0.461**	0.624**	0.472**	1									
最大外叶宽 Max outer leaf width	0.07	-0.107	0.480**	0.197	0.478**	0.545**	0.417*	0.720**	1								
中肋长 Petiole length	0.054	-0.005	0.572**	0.306	0.516**	0.652**	0.632**	0.853**	0.566**	1							
中肋宽 Petiole width	0.112	0.106	0.047	-0.024	-0.044	-0.367*	0.075	0.047	0.134	0.059	1						
中肋厚 Petiole thickness	-0.007	-0.023	0.133	-0.248	0.015	-0.192	0.100	0.153	-0.024	0.221	0.391*	1					

表 6 (续)
Table 6 (Continued)

指标 Index	株高 Plant height	株幅 Plant width	毛质量 Gross mass	外叶数 Number of outer leaf	净质量 Net mass	叶球高度 Leafy head height	叶球横径 Leafy head diameter transversa	最大 外叶长 Max outer leaf length	最大 外叶宽 Max outer leaf width	中肋长 Petiole length	中肋宽 Petiole width	中肋厚 Petiole thickness	内叶数 Number of inner leaf	短缩茎长 Stubby stem length	内叶紫 心面积 Purple core area of inner leaf	子叶面积 Cotyledon area	收获期 Harvest period	茸毛 密度 Pubescence density	泡状突起数量 Number of bubble
内叶数 Number of inner leaf	0.198	0.449**	0.209	0.063	0.391*	-0.116	0.081	-0.244	-0.235	-0.185	-0.226	-0.179	1						
短缩茎长 Stubby stem length	-0.039	0.178	0.450**	0.151	0.496**	0.003	0.105	0.124	0.126	0.077	-0.197	-0.132	0.482**	1					
内叶紫心面积 Purple core area of inner leaf	-0.057	-0.038	-0.098	0.024	-0.110	-0.205	-0.361*	-0.207	-0.111	-0.299	-0.061	-0.177	-0.156	-0.356*	1				
子叶面积 Cotyledon area	0.271	0.114	-0.142	-0.115	-0.067	-0.023	0.191	-0.020	0.044	0.117	0.171	0.176	-0.122	-0.518**	0.154	1			
收获期 Harvest period	-0.163	0.226	-0.124	-0.008	-0.018	-0.101	-0.295	-0.231	-0.317	-0.154	-0.240	0.002	0.272	0.063	0.177	0.238	1		
茸毛密度 Pubescence density	0.206	0.097	0.075	0.269	0.158	0.044	0.341*	0.175	0.002	0.239	0.012	0.034	0.183	0.107	0.113	0.027	0.023	1	
泡状突起数量 Number of bubble	-0.149	-0.037	0.002	-0.088	-0.007	0.090	-0.252	-0.092	-0.127	-0.173	-0.151	-0.006	-0.161	-0.062	0.045	-0.346*	-0.457**	-0.185	1

注：*表示在 0.05 水平显著相关，**表示在 0.01 水平极显著相关。下同。
Note: * indicates significant correlation at 0.05 level, ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level. The same below.

表7 14个质量性状的相关性分析
Table 7 Correlation analysis of fourteen quality traits

指标 Index	子叶颜色 Cotyledon color	抗病性 Disease resistance	外叶色 Outer leaf color	生长习性 Growth habits	光泽度 Glossiness	叶缘波状 Waveform of leaf margin	叶脉鲜明度 Vein distinctness	球形 Head shapes	抱合类型 Holding types	顶部形状 Top shapes	外叶中肋颜色 Petiole color of outer leaf	短缩茎形状 Stubby stem shape	叶球花蕾 Leafy head bolting	苗期叶脉紫色 Purple veins of seedling
子叶颜色 Cotyledon color	1													
抗病性 Disease resistance	-0.133	1												
外叶颜色 Outer leaf color	0.577**	-0.122	1											
生长习性 Growth habits	0.065	-0.377*	0.013	1										
光泽度 Glossiness	0.002	-0.172	-0.412*	0.017	1									
叶缘波状 Waveform of leaf margin	0.186	0.047	-0.238	0.090	0.738**	1								
叶脉鲜明度 Vein distinctness	0.389*	-0.029	0.109	0.009	0.037	0.200	1							
球形 Head shapes	0.420*	0.240	0.355*	0.082	-0.146	0.430*	0.354*	1						
抱合类型 Holding types	-0.507**	0.060	0.143	0.044	-0.308	-0.256	-0.314	0.051	1					
叶球顶部形状 Top shapes of leafy head	-0.067	0.166	0.069	0.271	-0.044	-0.040	0.007	0.066	0.334	1				
外叶中肋颜色 Petiole color of outer leaf	0.541**	-0.035	0.330	0.011	-0.083	0.149	0.289	0.501**	-0.383*	-0.330	1			
短缩茎形状 Stubby stem shape	0.059	-0.196	-0.229	0.103	0.093	0.030	0.084	-0.031	-0.117	-0.074	0.249	1		
叶球花蕾 Leafy head bolting	0.063	-0.029	-0.052	0.009	0.037	-0.109	0.019	-0.162	-0.314	-0.112	0.156	0.228	1	
苗期叶脉紫色 Purple veins of seedling	0.119	-0.110	-0.177	0.469**	0.399*	0.540**	0.316	0.242	-0.236	0.062	0.090	-0.142	0.026	1

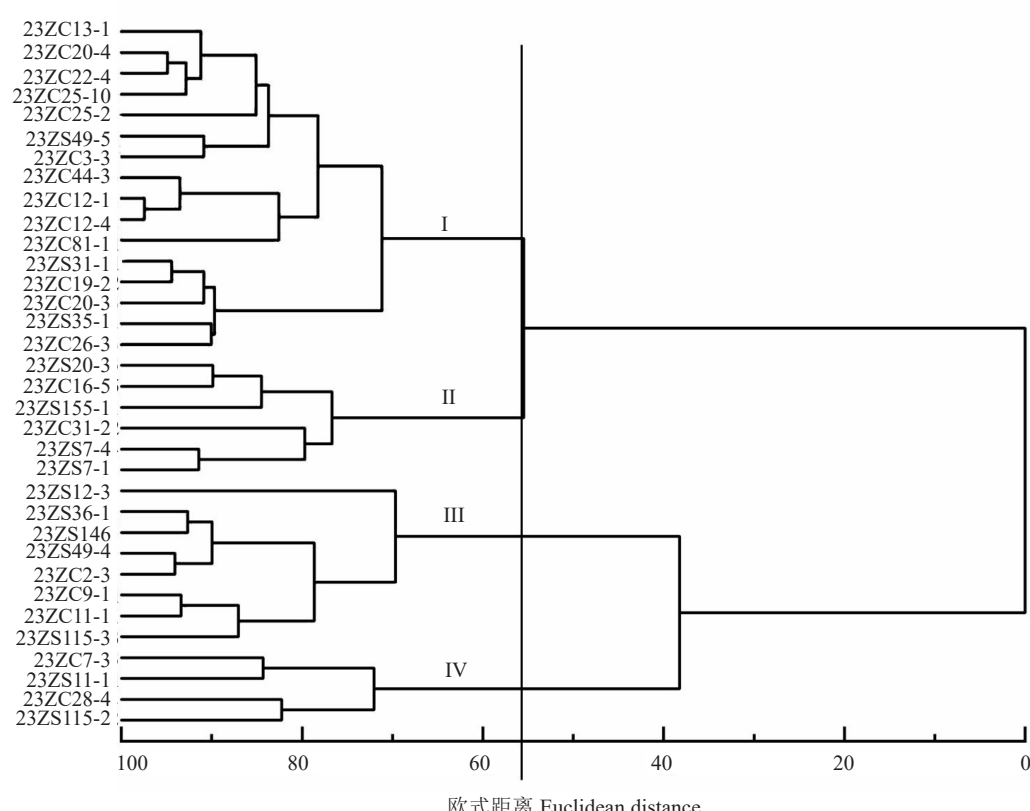


图 1 基于 35 个农艺性状的紫橙色大白菜聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of purple-orange Chinese cabbage based on thirty-five agronomic traits



注:A. 第I类群代表材料;B. 第II类群代表材料;C. 第III类群代表材料;D. 第IV类群代表材料。

Note: A. Representative material of group I; B. Representative material of group II; C. Representative material of group III; D. Representative material of group IV.

图 2 紫橙色大白菜农艺性状聚类中不同类群的叶球和特征性状

Fig. 2 Leaf heads and characteristic traits of different groups in the clustering of horticultural traits of purple-orange Chinese cabbage

扩增片段长度在 70~544 bp 之间,28 对 SSR 引物共扩增出 189 个位点,其中 114 个为多态性位点,占 60.3%。利用 PopGene32 软件进行分析,结果表明,34 份紫橙色大白菜自交系材料的平均观测等位基因数为 1.603 2,平均有效等位基因数为 1.309 6。

利用 SSR 标记对 34 份紫橙色大白菜进行遗传

多样性分析,34 份紫橙色大白菜相似度值范围在 0.68~1.00。基于 SSR 标记位点,利用 NTSYS-pc-Version2.10e 软件对 34 紫橙色大白菜进行聚类分析。结果如图 4 所示,相似系数在 0.71 处,将 34 份紫橙色大白菜自交系划分为 3 个主要聚类,材料分布不均匀,第一类群包含 29 份材料;第二类群包含 3 份材料;第三类群包含 2 份材料。其中第一类群,

表 8 19 个数量性状对前 5 个主成分的负荷及其特征值、贡献率和累计贡献率

性状 Trait	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
株高	0.046	-0.014	0.386	-0.135	-0.451
Plant height					
株幅	0.034	0.249	0.344	-0.140	-0.071
Plant width					
毛质量	0.364	0.158	-0.073	-0.033	0.292
Gross mass					
外叶数	0.220	0.139	-0.099	0.278	0.040
Number of outer leaf					
净质量	0.356	0.246	-0.006	-0.002	0.210
Net mass					
叶球高度	0.331	-0.056	-0.197	0.274	-0.187
Leafy head height					
叶球横径	0.304	-0.096	0.259	-0.090	-0.310
Leafy head transverse diameter					
最大外叶长	0.374	-0.190	-0.030	0.015	0.021
Max outer leaf length					
最大外叶宽	0.334	-0.191	-0.069	0.032	-0.003
Max outer leaf width					
中肋长	0.395	-0.178	0.061	0.057	0.050
Petiole length					
中肋宽	0.002	-0.258	0.237	-0.331	0.314
Petiole width					
中肋厚	0.027	-0.234	0.190	-0.316	0.461
Petiole thickness					
内叶数	0.026	0.517	0.214	-0.093	-0.069
Number of inner leaf					
短缩茎长	0.162	0.439	-0.079	-0.263	0.088
Stubby stem length					
内叶紫心面积	-0.149	-0.033	-0.022	0.418	0.077
Purple core area of inner leaf					
子叶面积	-0.024	-0.247	0.419	0.290	0.036
Cotyledon area					
收获期	-0.111	0.244	0.224	0.406	0.357
Harvest period					
茸毛密度	0.119	0.081	0.244	0.122	-0.175
Pubescence density					
泡状突起数量	-0.055	-0.026	-0.412	-0.260	-0.185
Number of bubble					
特征值 Eigenvalue	4.771	2.556	2.223	1.666	1.365
贡献率	25.11	13.46	11.70	8.77	7.18
Contribution rate/%					
累计贡献率	25.11	38.57	50.27	59.04	66.22
Cumulative contribution rate/%					
特征因子	综合因子	叶球因子	生长因子	面积因子	叶肋因子
Feature factor	Composite factor	Leafy head factor	Growth factor	Area factor	Leaf rib factor

表 9 14 个质量性状对前 5 个主成分的负荷及其特征值、贡献率和累计贡献率

性状 Trait	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
子叶颜色	0.416	0.288	-0.041	0.073	-0.159
Cotyledon color					
抗病性	-0.082	0.083	0.156	-0.601	0.385
Disease resistance					
外叶颜色	0.108	0.518	0.133	0.161	-0.266
Outer leaf color					
生长习性	0.115	-0.123	0.250	0.621	0.124
Growth habit					
光泽度	0.202	-0.506	-0.016	-0.101	-0.174
Glossiness					
叶缘波状程度	0.354	-0.345	0.210	-0.235	-0.028
Waveform of leaf margin					
叶脉鲜明度	0.339	0.077	0.063	-0.037	0.156
Vein distinctness					
球形	0.326	0.246	0.353	-0.184	0.231
Head shape					
抱合类型	-0.355	0.104	0.365	0.088	0.118
Holding type					
叶球顶部形状	-0.118	-0.010	0.444	0.178	0.378
Top shape of leaf head					
外叶中肋颜色	0.387	0.269	-0.179	-0.033	0.120
Petiole color of outer leaf					
短缩茎形状	0.094	-0.071	-0.330	0.208	0.585
Stubby stem shapes					
叶球花蕾	0.077	-0.033	-0.401	0.126	0.338
Leafy head bolting					
苗期叶脉紫色	0.315	-0.304	0.285	0.137	-0.038
Purple veins of seedling					
特征值 Eigenvalue	3.070	2.382	1.878	1.538	1.082
贡献率	21.93	17.02	13.42	10.99	7.74
Contribution rate/%					
累计贡献率	21.93	38.95	52.37	63.36	71.09
Cumulative contribution rate/%					
特征因子	综合因子	颜色因子	叶球因子	生长因子	抽薹因子
Feature factor	Composite factor	Color factor	Leafy head factor	Growth factor	Sprouts factor

除了 23ZS115-2 与其他材料遗传距离较大外,其余材料之间遗传距离表现为连续变化,没有明显的类群划分界线。在农艺性状聚类中,23ZS115-2 与 23ZC7-3、23ZS11-1 聚为一类,在 SSR 标记聚类中 23ZS115-2 虽与 23ZC7-3 和 23ZS11-1 均在第一类群中,但距离较远。进一步分析发现,农艺性状聚类与 SSR 标记聚类一致性很低(Kappa 系数=0.09)。

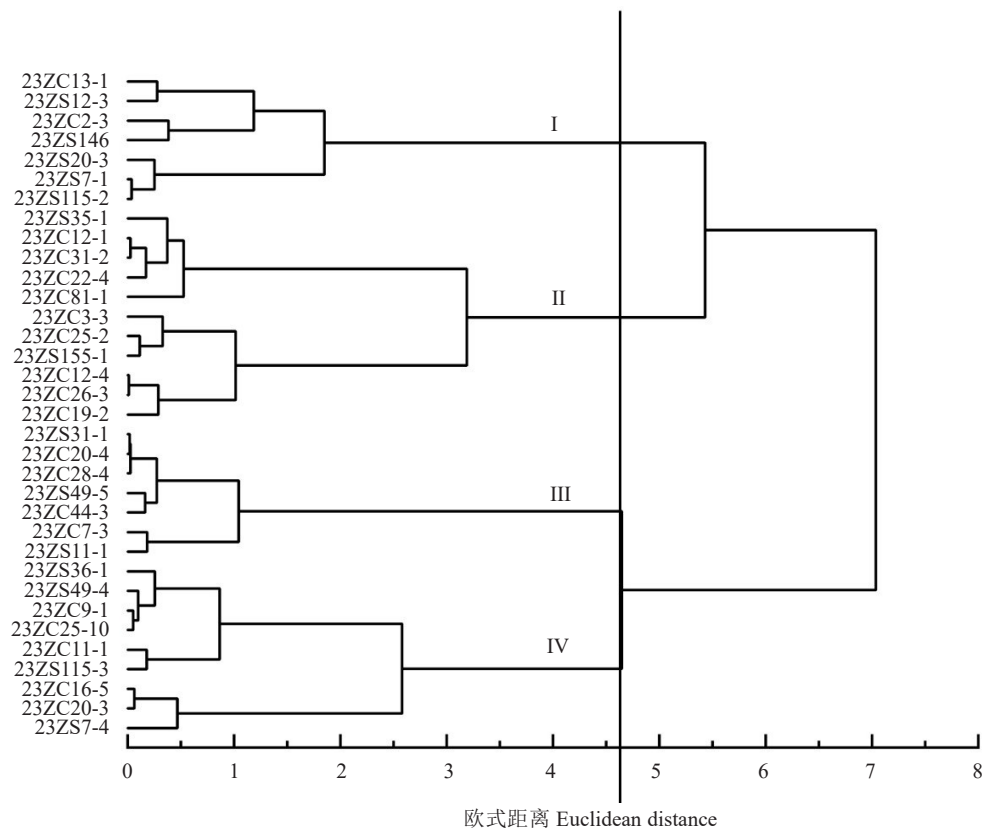


图3 34份紫橙色大白菜前5个主成分得分聚类图

Fig. 3 Cluster plots of the top five principal component scores of 34 purple-orange Chinese cabbages

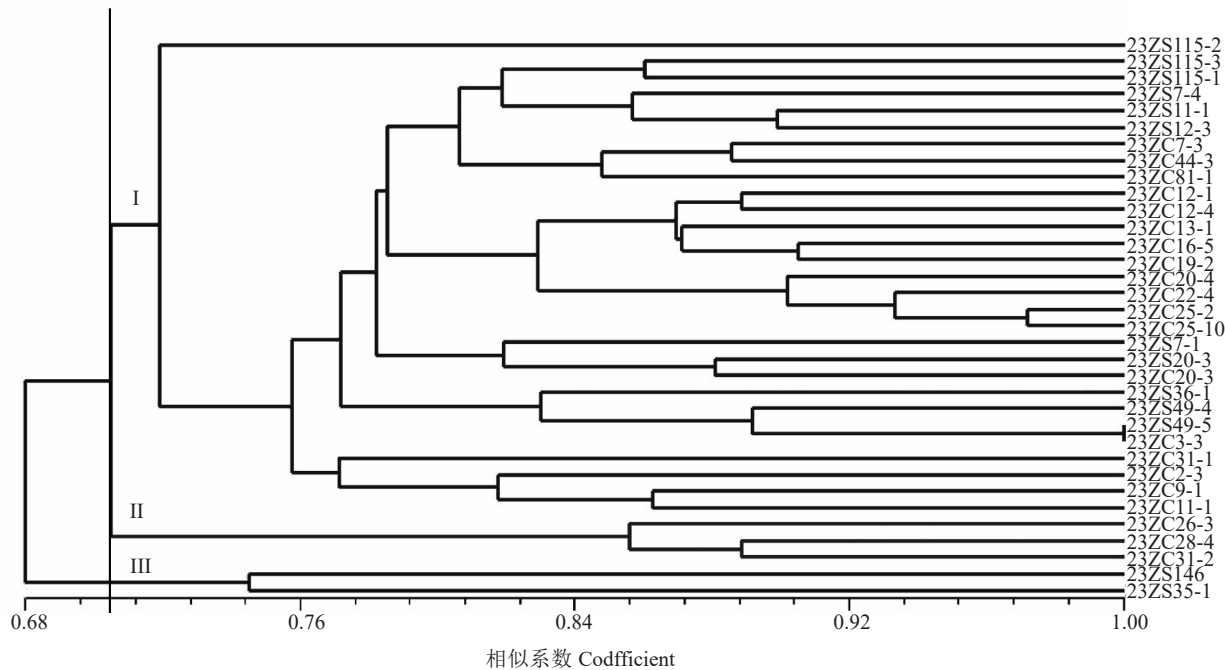


图4 34份紫橙色大白菜 SSR 分子标记聚类图

Fig. 4 Cluster diagram of SSR molecular markers in 34 purple-orange Chinese cabbages

3 讨论与结论

种质资源鉴定和评价是植物育种的基础工作，

也是有效地管理和利用植物遗传资源的依据。进行自交系性状变异分析及其相关性分析,可为育种的亲本选择提供基础信息,遗传多样性分析则可明

确品种选育的范围和潜力。形态学特征一直是鉴定植物基因型的基础,大多数作物都有规范的形态特征观测标准,并广泛应用^[29-32]。笔者选用35个表型性状对34份紫橙色大白菜进行了性状鉴定、相关性分析,对33个表型性状进行了主成分分析以及亲缘关系分析,明确了紫橙色大白菜主要性状的变异及其不同性状间的相关关系,这将为种质资源创制和亲本选育提供重要的指导。

变异系数揭示的是作物性状的变异幅度和规律,多样性指数则体现性状类型的丰富程度,二者是研究作物表型性状的重要指标。研究表明,变异系数与多样性指数的值越大,多样性的丰富程度越高,进而说明样本间的多样性丰富。有报道指出变异系数大于10%,多样性指数大于1.000即为多样性程度高^[24,33]。在本研究中,除叶缘锯齿和叶球内叶颜色外,其余性状的变异系数均大于10%。除泡状突起数量、子叶面积、收获期和内叶紫心面积外的15个数量性状的多样性指数均大于1,质量性状中的子叶颜色、外叶中肋颜色、短缩茎形状的多样性指数大于1,可见笔者在本研究中选用的34份紫橙色大白菜种质资源具有较丰富的表型多样性。

主成分分析是将多个变量通过线性变换选出较少个数重要变量的一种多元统计分析方法,并广泛用于植物表型性状的评价和分类^[14-24],笔者按PC值将34份紫橙色大白菜自交系材料划分为4个类群,类群之间划分明显,说明少量的主成分高度凝练了农艺性状的多数信息,提高了材料之间差异性,但聚类结果与农艺性状聚类结果一致性较低(Kappa系数=0.384),由此说明PC值聚类结果与农艺性状聚类可能具有不同的植物学意义,其具体的功能差异还有待进一步研究。

本研究中,SSR标记聚类将34份紫橙色大白菜自交系材料划分为了3个类群,而农艺性状聚类划分为了4个类群,两者的一致性很低(Kappa系数=0.09),这与龚颖等^[36]的研究结果一致。查询材料的系谱来源可以发现,SSR标记聚类将大多数来源相同的自交系材料划分在了同一类群,这表明SSR标记可以在一定程度上反映出材料的亲缘关系。但也有部分系谱来源相近的材料没有划分在一起,通过与表型聚类的对比发现,这些材料在田间的表型差异明显,说明在不同的选择方式下,后代发生了较大的表型变异和遗传变异,因此表现为农艺性状聚类和SSR标记聚类结果不一致。其原因在于,虽然本试验所用的SSR标记较均匀地分布

在大白菜的10条染色体上,但无法确定SSR标记的DNA差异性一定与本试验调查的表型性状有关,这种现象同样存在于扁豆^[37]、辣椒^[38]、藜麦^[39]等作物中;其次本试验是立足于本身的研究选取了大白菜的部分表型性状,而SSR标记的DNA可能是与所选取的表型性状相关性低或不相关的片段,因此也会导致表型聚类与SSR标记聚类的结果产生差异;此外,多数表型性状是由多基因共同决定的,但其控制基因在染色体上的分布不一定均匀,而本试验所用的28对SSR标记检测的可能只是其中的部分基因位点,并不能代表全部的DNA差异。表型性状是基因综合表达的结果,SSR标记则代表全部的遗传差异,其中包括潜在的表型变异和无表型的变异,两种结果的一致性取决于与表型相关的SSR标记的多少,因此在作物种质资源鉴定评价中应该综合考虑表型变异和SSR标记两种结果。

综上所述,34份紫橙色大白菜种质资源具有较丰富的表型多样性。数量性状中叶球高低的育种潜力较大,质量性状中子叶颜色的变异系数最大,具有较大的品种外观改良潜力。叶球高度、叶球横径、最大外叶长、最大外叶宽、短缩茎长、中肋长和外叶数是影响毛质量和净质量的主要相关性状。表型性状聚类与主成分聚类结果吻合率较高,与SSR分子标记聚类的结果一致性很低,在作物种质资源鉴定评价中应该综合考虑表型变异和SSR标记两种结果。

参考文献

- [1] 周振清. 芜菁与白菜杂交种: 橙色女王[J]. 中国蔬菜, 1992(2): 55.
- [2] 徐家炳. 北京桔红心(97-8)大白菜新品系[J]. 中国蔬菜, 1998(4): 31.
- [3] 张鲁刚, 惠麦侠, 张明科. 彩色大白菜新品种金冠1号的选育[J]. 北方园艺, 2005(4): 67-68.
- [4] 禾子. 我国科学家培育出彩色“大白菜”[J]. 农村科技开发, 2003(4): 42.
- [5] 孙日飞, 张淑江, 章时蕃, 等. 紫红色大白菜种质的创新研究[J]. 园艺学报, 2006, 33(5): 1032.
- [6] 张鲁刚, 张明科, 惠麦侠. 一种紫心大白菜新种质的选育方法: CN101480164A[P]. 2009-02-18.
- [7] 段岩娇, 张鲁刚, 何琼, 等. 紫心大白菜花青素积累特性及相关基因表达分析[J]. 园艺学报, 2012, 39(11): 2159-2167.
- [8] 薛一花, 何琼, 陈霖, 等. 大白菜紫心性状的遗传分析及度量参数比较[J]. 园艺学报, 2019, 46(12): 2423-2428.
- [9] 张德双, 赵泓, 张凤兰, 等. 新型紫色大白菜15NG28后代的鉴别及其转录组分析[J]. 华北农学报, 2017, 32(6): 14-24.
- [10] 张鲁刚, 卢倩倩, 何琼, 等. 紫橙色大白菜新种质的创制[J]. 园艺学报, 2022, 49(7): 1582-1588.
- [11] HE Q, ZHANG Z F, ZHANG L G. Anthocyanin accumulation,

- antioxidant ability and stability, and a transcriptional analysis of anthocyanin biosynthesis in purple heading Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(1): 132-145.
- [12] HE Q, WU J Q, XUE Y H, et al. The novel gene *BrMYB2*, located on chromosome A07, with a short intron 1 controls the purple-head trait of Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.) [J]. Horticulture Research, 2020, 7(1): 97.
- [13] 刘来福. 作物数量性状的遗传距离及其测定[J]. 遗传学报, 1979, 6(3): 349-355.
- [14] 康泽培, 孙健, 张小雨, 等. 黄秋葵种质资源主要农艺性状的综合评价[J]. 种子, 2024, 43(1): 43-51.
- [15] 尹一合, 安仕博, 于翠香, 等. 吉林省南瓜属种质资源的遗传多样性分析[J]. 北方园艺, 2024(11): 9-15.
- [16] 吴珍, 董新玉, 张亚春, 等. 大蒜种质资源的综合评价及聚类分析[J]. 长江蔬菜, 2024(6): 26-32.
- [17] 聂波涛, 刘德泉, 陈健, 等. 北方春大豆品种农艺和品质性状分析与综合评价[J]. 作物学报, 2024, 50(9): 2248-2266.
- [18] 杨娅, 吴康云, 黄冬福, 等. 基于主成分分析对不同地区辣椒品质的综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(23): 264-271.
- [19] 陈明俊, 罗小波, 曹贞菊, 等. 基于主成分分析和隶属函数法对不同马铃薯酶促褐变评价[J]. 中国蔬菜, 2024(4): 85-92.
- [20] 孟淑春, 郑晓鹰, 刘玉梅, 等. 大白菜种质资源形态性状的多样性分析[J]. 华北农学报, 2005(4): 57-61.
- [21] 刘永莉, 刘翹, 孙冲霞. 大白菜主要数量性状主成分分析和聚类分析[J]. 吉林蔬菜, 2007(3): 73-75.
- [22] 韩睿, 赵孟良, 孙世英, 等. 47 份大白菜品种的遗传多样性研究[J]. 西北农业学报, 2021, 30(5): 707-716.
- [23] 肖艳, 张倩倩, 原让花, 等. 基于主成分分析和聚类分析的大白菜耐抽薹种质资源评价[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(5): 37-43.
- [24] 魏书洞, 孙晓雪, 孟川, 等. 引进大白菜种质资源表型多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(11): 40-49.
- [25] CHARCOSSET A, MOREAU L. Use of molecular markers for the development of new cultivars and the evaluation of genetic diversity[J]. European Journal of Plant Pathology, 2004, 137(1): 81-94.
- [26] 全国植物新品种测试标准化技术委员会. 植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南-大白菜: GB/T 19557.5—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [27] MURRAY M G, THOMPSON W F. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA[J]. Nucleic Acids Research, 1980, 8(19): 4321-4325.
- [28] 隋光磊, 于拴仓, 杨金雪, 等. 大白菜品种鉴定的 SSR 核心引物筛选及其应用[J]. 园艺学报, 2014, 41(10): 2021-2034.
- [29] 李荣华, 夏岩石, 刘顺枝, 等. 改进的 CTAB 提取植物 DNA 方法[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28(9): 14-16.
- [30] 王啸博, 曹颖, 郭伟, 等. 玉兰亚属 44 种(品种)的花粉形态特征研究[J]. 园艺学报, 2023, 50(11): 2417-2434.
- [31] 武杰瑞. 紫花苜蓿茎秆不同发育阶段形态特征和转录组学分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
- [32] 何周建. 应用形态特征、oligo-FISH 和 SSR 荧光标记区分竹叶花椒品种和品系[D]. 成都: 四川农业大学, 2023.
- [33] 范继征, 李秀玲, 何荆洲, 等. 29 个兜兰属物种的表型多样性及亲缘关系研究[J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(3): 680-691.
- [34] 何伟锋, 叶福民, 乔辉, 等. 辽宁省小豆种质资源表型鉴定及多样性分析[J]. 河北农业大学学报, 2022, 45(1): 20-24.
- [35] 赵玉靖, 卢银, 冯大领, 等. 大白菜自交系背景选择 InDel 标记与重要农艺性状的关联分析[J]. 园艺学报, 2021, 48(7): 1282-1294.
- [36] 龚颖, 包永蓉, 霍建宇, 等. 72 份紫橙色大白菜种质资源多样性分析[J]. 中国蔬菜, 2024(9): 51-60.
- [37] 姚陆铭, 袁娟, 马晓红, 等. 基于表型性状及 SSR 标记的扁豆种质资源遗传多样性分析[J]. 作物杂志, 2024(1): 35-45.
- [38] 张强强, 梁赛, 王艳, 等. 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.
- [39] 陶小所, 姚晓华, 吴昆仑, 等. 基于表型和基因型的藜麦种质资源遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2024, 33(5): 798-809.