

大白菜种质资源全生育期关键表型性状关联分析

赵丹琦, 张海燕, 韩祉君, 安仕博, 张雪, 肖靖,
王喜山, 陈树良, 赵福顺, 于翠香

(吉林省农业科学院经济植物研究所·中国农业科技东北创新中心 长春 130000)

摘要: 为探究大白菜种质资源全生育期关键表型性状间的关系, 对国家蔬菜种质资源中期库 67 份大白菜种质资源的 50 个关键表型性状进行测定, 并开展变异程度分析、相关性分析、主成分分析及聚类分析。结果表明, 67 份大白菜种质资源的表型性状变异明显, 遗传多样性丰富, 30 个质量性状变异系数为 13.89%~95.25%, 平均为 44.98%; 20 个数量性状变异系数在 17.53%~56.56% 之间, 平均达 35.98%。相关性分析表明, 50 个表型性状间存在复杂的相关性, 有 28 对性状呈高度正相关, 3 对性状呈高度负相关。主成分分析显示, 前 17 个主成分累计贡献率达 80.59%, 涵盖了产量、结球性及叶球特征相关性状等主要信息, 能够反映全部指标的大部分信息。聚类分析则将 67 份大白菜种质资源聚为 4 个类群, 各类群具有独特的表型特征。综上, 67 份大白菜种质资源可作为丰产、优质及特色类型品种选育的核心材料, 为破解当前大白菜育种遗传基础狭窄问题提供关键支撑。本研究结果为深入开展大白菜种质资源的评价与优异种质创新提供了重要理论依据, 有助于加速大白菜育种进程。

关键词: 大白菜; 种质资源; 表型性状; 遗传多样性

中图分类号: S634.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)07-070-12

Correlation analysis of key phenotypic traits in the whole growth period of Chinese cabbage germplasm resource

Zhao Danqi, Zhang Haiyan, Han Zhijun, An Shibo, Zhang Xue, Xiao Jing, Wang Xishan, Chen Shuliang, Zhao Fushun, Yu Cuixiang

(Institute of Economic Botany, Jilin Academy of Agricultural Sciences/Northeast Innovation Center of China Agricultural Science and Technology, Changchun 130000, Jilin, China)

Abstract: In order to explore the relationship between key phenotypic traits of Chinese cabbage germplasm resource throughout the whole growth period, 50 key phenotypic traits of 67 Chinese cabbage germplasm resources from the National Vegetable Germplasm Resources Mid-term Bank were determined, and variation degree analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis were performed. The results indicate that the phenotypic traits of 67 cabbage germplasm resources are significantly variable and the genetic diversity is rich. The qualitative variation coefficient of 30 traits is 13.89%-95.25%, with an average of 44.98%; the coefficient of variation of 20 quantitative traits is between 17.53% and 56.56%, with an average of 35.98%. Correlation analysis shows that there are complex correlations among 50 phenotypic traits, with 28 pairs of traits being highly positively correlated and 3 pairs of traits being highly negatively correlated. Principal component analysis shows that the cumulative contribution rate of the top 17 principal components reached 80.59%, covering the main information such as yield, no duliness and leaf head characteristics, which could reflect most of the information of all indicators. Cluster analysis aggregates 67 cabbage germplasm resources into 4 taxa, and each group has unique phenotypic characteristics. These results of this study provide an important theoretical basis for in-depth evaluation of cabbage germplasm resource and excellent germplasm innovation, which could help accelerate the breeding process of cabbage.

Key words: Chinese cabbage; Germplasm resource; Phenotypic trait; Genetic diversity

收稿日期: 2025-08-06; 修回日期: 2026-04-12

基金项目: 吉林省用人单位柔性引进高层次人才补助项目(JRS2026R001); 吉林省农业科技创新工程(CXGC2024XK001)

作者简介: 赵丹琦, 女, 研究实习员, 主要从事蔬菜种质资源研究。E-mail: zhaodnqi@163.com

通信作者: 赵福顺, 男, 研究员, 主要从事蔬菜种质资源及育种研究。E-mail: Zhfs1963@163.com

于翠香, 女, 副研究员, 主要从事蔬菜育种栽培研究。E-mail: 593283116@qq.com

大白菜(*Brassicarapa* L. ssp. *pekinensis*)隶属于十字花科芸薹属蔓菁的1个变种^[1-2],起源于中国,栽培历史可追溯至2500年前,在我国种植面积广、栽培区域跨度大、耐寒性突出,适配冷凉气候条件,在富含有机质的壤土或黑黄土中生长表现优良^[3],且兼具食用与药用双重价值,富含维生素、膳食纤维及多种矿物质,营养丰富^[4]。大白菜是吉林省秋菜核心主栽蔬菜,占秋菜生产比重极高,对保障区域蔬菜供给、稳定农业产业结构、助力农户增收均具有重要意义。

大白菜的种质资源及生态类型十分丰富,品种多样^[5]。关键优异资源的挖掘与利用是作物育种创新的核心基础,自我国开始大白菜种质资源收集、研究以来,先后筛选、鉴定和选育出一批优异的种质资源,这些骨干种质资源支撑着近二三十年来我国大白菜的育种和生产^[6]。但随着育种实践中骨干自交系的集中应用,品种遗传背景日趋狭窄,难以满足突破性品种培育需求,遗传多样性问题亟待解决^[7]。

种质资源表型评价是种质创新利用的前提,近年来相关研究已取得明显进展。魏书洞等^[8]通过对138份国内大白菜种质资源的表型调查与图像分析,基于株型、叶球特性等核心性状将其划分为小株型、小外叶型、高产型、叶球松散型和大株型5个类群;刘永莉等^[9]对大白菜主要数量性状进行聚类分析,结果显示,48份种质资源可分为丰产型、平头卵圆型、小株型等6大类,明确了我国大白菜种质资源类型丰富,用途广泛。在大白菜区域适应性研究方面,范伟强等^[10]对天津地区33个大白菜品种的表型进行多样性分析,发现短缩茎高度是变异最广泛的数量性状,且检测到4对极显著相关的性状组合,为区域化品种选育提供了性状关联参考;韩睿等^[11]对青海高海拔地区47个大白菜品种的遗传多样性研究表明,筒形品种天津绿、青78及球形品种精纯胶蔬秋因结球紧实、抗病性强,适配当地气候条件,成为主推品种。这些研究为大白菜种质的筛选及利用奠定了基础,但现有研究多聚焦于局部区域或有限性状,针对全国范围内收集的核心种质资源全生育期关键表型性状的系统关联分析较为缺乏,难以全面揭示种质资源的遗传特性与优异性状间的关联机制。

鉴于此,笔者以从国家蔬菜种质资源中期库引进的67份核心大白菜种质资源为研究对象,测定不同时期的50个关键表型性状,通过变异程度分

析、相关性分析、主成分分析及聚类分析,明确种质资源的表型多样性特征、性状关联规律及种群划分标准,旨在为大白菜种质资源的深度评价、优异基因挖掘及突破性新品种选育提供理论依据与材料支撑。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大白菜种质资源共67份,均引自国家蔬菜种质资源中期库,具体信息见表1。

1.2 方法

试验于2022年3月至2023年10月在吉林省长春市范家屯镇吉林省农业科学院经济植物研究所进行。播种前做好试验地的准备工作,土壤进行深翻、施肥、做垄等。采用随机区组设计,设3次重复,小区长5 m,宽1.3 m(面积6.5 m²),2垄为一个小区(垄长5 m、垄宽0.65 m),使用50孔穴盘(540 mm×280 mm)育苗,于大白菜苗期、莲座期、结球期和开花期,参照《大白菜种质资源描述规范和数据标准》^[12]测定叶顶端形状、叶缘波纹、外叶裂刻、叶色、外叶形状、中肋颜色、叶球颜色、叶球紧实度、叶球抱合类型、叶球风味、叶球质地、单株总质量、叶球质量等50个表型性状(表2),定量性状结合称量、测量法完成,所用仪器含电子台秤、数显游标卡尺、不锈钢卷尺等,50个性状连续测定2年完成。

1.3 统计分析

对67份大白菜种质资源进行质量性状多样性分析、数量性状变异分析、相关性分析、主成分分析及聚类分析。采用Excel 2016、IBMSPSS 27.0及Origin(2022)进行数据处理与分析。对质量性状进行分布频率的多样性分析,参考李锡香等^[12]的方法并略作调整,质量性状分类与赋值见表3;对数量性状进行平均值、方差、标准差、变异幅度及变异系数分析;主成分分析采用最大方差法;聚类分析采用系统聚类组间联接欧氏距离法。采用Spearman法对数量性状与有序多态性指标间的相关性进行分析,依据相关系数($|r|$)将相关性划分为4个等级:弱相关($|r|<0.3$)、低度相关($0.3\leq|r|<0.5$)、中度相关($0.5\leq|r|<0.8$)和高度相关($|r|\geq 0.8$)^[13]。

2 结果与分析

2.1 表型性状变异与遗传多样性分析

遗传多样性分析结果表明,从国家蔬菜种质资源中期库引进的67份大白菜资源种植在同一生长

表 1 67 份大白菜种质资源信息

Table1 Informations of 67 Chinese cabbage germplasm resources

序号 Number	代码 Code	名称 Name	来源地 Source	序号 Number	代码 Code	名称 Name	来源地 Source
1	BJ1	梁格庄白菜 Lianggezhuang cabbage	河北 Hebei	35	BJ45	摆捞散叶白菜 Bailaosanye cabbage	贵州 Guizhou
2	BJ2	文安大白菜 Wen'an Chinese cabbage	河北 Hebei	36	BJ46	华塔高秆大白菜 Huatagaogan Chinese cabbage	贵州 Guizhou
3	BJ4	黄秧白菜 Huangyang cabbage	内蒙古 Inner Mongolia	37	BJ47	熬硝青口白 Aoxiaoqingkoubai	贵州 Guizhou
4	BJ5	小根黄秧白菜 Xiaogenghuangyang cabbage	内蒙古 Inner Mongolia	38	BJ48	坪寨高秆大白菜 Pingzhaiagaogan Chinese cabbage	贵州 Guizhou
5	BJ6	范庄白菜 Fanzhuang cabbage	河北 Hebei	39	BJ49	白胜白菜 Baisheng cabbage	贵州 Guizhou
6	BJ7	钱庄子小白菜 Qianzhuangzi cabbage	河北 Hebei	40	BJ50	和静大白菜-2 Hejing Chinese cabbage-2	新疆 Xinjiang
7	BJ8	白麻叶 Baimaye	河北 Hebei	41	BJ51	核桃纹 Walnut pattern	河北 Hebei
8	BJ13	高邑白 Gaoyibai	河北 Hebei	42	BJ53	河峪天津绿 Heyu Tianjin Green	山东 Shandong
9	BJ15	刘磁沟青麻叶 Liucigou Qingmaye	河北 Hebei	43	BJ54	冬天白菜 Winter cabbage	山东 Shandong
10	BJ16	相古庄大白菜 Xiangguzhuang Chinese cabbage	河北 Hebei	44	BJ58	青菜 Greens	青海 Qinghai
11	BJ17	琵琶营二包尖 Pipayingerbaojian	河北 Hebei	45	BJ59	乌什大白菜 Ush Chinese cabbage	新疆 Xinjiang
12	BJ20	西李家庄大黄心 West Lijiazhuang Dahuangxin	河北 Hebei	46	BJ60	兴芦金黄白菜 Xinglu golden cabbage	河北 Hebei
13	BJ21	耿家沟老白菜 Gengjiagou old cabbage	河北 Hebei	47	BJ64	大青麻叶 Daqingmaye	内蒙古 Inner Mongolia
14	BJ22	郭庄伙独留青 Guozhuang huoduliuqing	河北 Hebei	48	BJ65	卷心白 Juanxinbai	内蒙古 Inner Mongolia
15	BJ23	冬储窖王包头菜 Dongchujiaowang cabbage	内蒙古 Inner Mongolia	49	BJ66	抱头白菜 Baotou cabbage	内蒙古 Inner Mongolia
16	BJ24	大白菜 Chinese cabbage	河南 Henan	50	BJ69	白菜 Cabbage	四川 Sichuan
17	BJ25	靖远老白菜 Jingyuan old cabbage	甘肃 Gansu	51	BJ70	白菜 Cabbage	四川 Sichuan
18	BJ26	黄秧白 Huangyangbai	内蒙古 Inner Mongolia	52	BJ71	下锅耙大白菜 Xiaguoba Chinese cabbage	四川 Sichuan
19	BJ27	白菜籽 Cabbage seeds	内蒙古 Inner Mongolia	53	BJ72	白菜 Cabbage	四川 Sichuan
20	BJ28	新乡小包 Xinxiang xiaobao	河南 Henan	54	BJ74	本地白菜 Native cabbage	四川 Sichuan
21	BJ29	毛庄小黑叶 Maozhuang xiaoheiy	河南 Henan	55	BJ75	黄秧白 Huangyangbai	四川 Sichuan
22	BJ30	崔庄白菜 903 Cuizhuang cabbage 903	河南 Henan	56	BJ76	毛窝子白菜 Maowozi cabbage	四川 Sichuan
23	BJ31	永丰村大白菜 Yongfeng Village Chinese cabbage	黑龙江 Heilongjiang	57	BJ77	高桩白 Gaozhuangbai	四川 Sichuan
24	BJ32	灯塔村白菜 Dengta Village cabbage	黑龙江 Heilongjiang	58	BJ78	土白菜 Native cabbage	四川 Sichuan
25	BJ33	新合村白菜 Xinhe Village cabbage	黑龙江 Heilongjiang	59	BJ79	下锅耙 Xiaguoba	四川 Sichuan
26	BJ34	安帮河村白菜 Anbanghe Village cabbage	黑龙江 Heilongjiang	60	BJ80	白菜 Cabbage	四川 Sichuan
27	BJ35	曹李庄快菜 Caolizhuang fast cabbage	河北 Hebei	61	BJ81	本地白菜 Native cabbage	四川 Sichuan

表 1 (续)
Table 1 (Continued)

序号 Number	代码 Code	名称 Name	来源地 Source	序号 Number	代码 Code	名称 Name	来源地 Source
28	BJ37	马村白菜 Macun cabbage	河南 Henan	62	BJ83	喂猪白 Weizhubai	四川 Sichuan
29	BJ38	内蒙白菜 Inner Mongolian cabbage	内蒙古 Inner Mongolia	63	BJ84	白菜 Cabbage	四川 Sichuan
30	BJ40	青麻叶 Qingmaye	内蒙古 Inner Mongolia	64	BJ86	白菜 Cabbage	四川 Sichuan
31	BJ41	大树湾卷心白 Dashuwanjuanxinbai	内蒙古 Inner Mongolia	65	BJ87	高山白菜 Alpine cabbage	四川 Sichuan
32	BJ42	抱头白 Baotoubai	内蒙古 Inner Mongolia	66	BJ88	本地白菜 Native cabbage	四川 Sichuan
33	BJ43	核桃纹白菜 Walnut cabbage	河北 Hebei	67	BJ89	本地散白菜 Local loose cabbage	四川 Sichuan
34	BJ44	关口大白菜 Guankou Chinese cabbage	贵州 Guizhou				

表 2 大白菜种质资源性状分类
Table 2 Classify of characteristics of Chinese cabbage germplasm resource

代码 Code	性状 Trait	类型 Type	代码 Code	性状 Trait	类型 Type
X1	叶形 leaf-shaped	质量性状 QL	X26	花茎颜色 Flower stem color	质量性状 QL
X2	叶顶端形状 Leaf apical shape	质量性状 QL	X27	花色 Petal color	质量性状 QL
X3	叶缘波纹 Leaf margins corrugated	质量性状 QL	X28	花瓣形状 Petal shape	质量性状 QL
X4	叶缘齿状 Leaf margin tooth shape	质量性状 QL	X29	角果表面 Horn fruit surface	质量性状 QL
X5	外叶裂刻 The outer leaves cracked	质量性状 QL	X30	角果颜色 Horn fruit color	质量性状 QL
X6	叶色 Leaf color	质量性状 QL	X31	外叶数 The number of outer leaves	数量性状 QN
X7	叶面毛刺 Foliar burrs	质量性状 QL	X32	株高 Plant height	数量性状 QN
X8	叶面 Foliar	质量性状 QL	X33	株幅 Plant width degree	数量性状 QN
X9	叶缘翻卷 The leaf edge rolled	质量性状 QL	X34	外叶长 Outer leaf length	数量性状 QN
X10	中肋色 Rib color	质量性状 QL	X35	外叶宽 Outer leaf width	数量性状 QN
X11	中肋横切面形状 Midrib cross-sectional shape	质量性状 QL	X36	单株总质量 Total mass per plant	数量性状 QN
X12	结球性 Head-forming	质量性状 QL	X37	叶球质量 Leaf head mass	数量性状 QN
X13	叶球形状 Leaf head shape	质量性状 QL	X38	叶球纵径 Leafhead longitudinal diameter	数量性状 QN
X14	叶球顶形状 Leaf dome shape	质量性状 QL	X39	叶球横径 Leaf head transverse diameter	数量性状 QN
X15	叶球抱合类型 Leaf head conjugation type	质量性状 QL	X40	中肋长 Midrib length	数量性状 QN
X16	叶球心 Leaf head heart	质量性状 QL	X41	中肋宽 Midrib width	数量性状 QN
X17	叶球外露性 Leaf bulb exposed	质量性状 QL	X42	中肋厚度 Midrib thickness	数量性状 QN
X18	球叶叠合度 Superposition of the leaf head	质量性状 QL	X43	球叶中肋质量 Bulbar midrib mass	数量性状 QN
X19	叶球颜色 Leaf head color	质量性状 QL	X44	短缩茎高度 Shortened stem height	数量性状 QN
X20	叶球内叶颜色 The color of the inner lobe of the leaf head	质量性状 QL	X45	短缩茎横径 Shorten the transverse diameter of the stem	数量性状 QN
X21	短缩茎侧芽萌发 Shortened stem lateral buds germinate	质量性状 QL	X46	短缩茎质量 Shortened stem mass	数量性状 QN
X22	短缩茎形状 Shortened stem shape	质量性状 QL	X47	主花茎粗 The thick of main flower stem	数量性状 QN
X23	叶球紧实度 Leaf head compactness	质量性状 QL	X48	开花植株高度 Height of flowering plants	数量性状 QN
X24	叶球风味 Leaf head flavor	质量性状 QL	X49	角果长度 Horn fruit length	数量性状 QN
X25	叶球质地 Leaf head texture	质量性状 QL	X50	角果宽度 Corner fruit width	数量性状 QN

表3 大白菜资源质量性状分级和赋值

Table 3 Classification and assignment of qualitative traits in Chinese cabbage germplasm resource

代码 Code	性状 Trait	赋值 Assignment
X1	叶形 Leaf-shaped	近圆=1, 长卵=2, 宽倒卵=3, 倒卵=4, 椭圆=5, 长椭圆=6 Nearly round=1, long ovate=2, wide inverted ovum=3, inverted ovate=4, ellipse=5, long ellipse=6
X2	叶顶端形状 Leaf apical shape	尖=1, 钝尖=2, 圆=3, 阔圆=4 Pointed=1, blunt tip=2, round=3, wide circle=4
X3	叶缘波纹 Leaf margins corrugated	无=0, 小=1, 中=2, 大=3 None=0, small=1, medium=2, large=3
X4	叶缘齿状 Leaf margin tooth shape	全缘=1, 波状=2, 单锯齿=3, 复锯齿=4 Hologenesis=1, wavy=2, single sawtooth=3, double sawtooth=4
X5	外叶裂刻 The outer leaves cracked	无裂=0, 浅裂=1, 深裂=2 No crack=0, shallow crack=1, deep crack=2
X6	叶色 Leaf color	黄绿=1, 浅绿=2, 绿=3, 灰绿=4, 深绿=5 Yellow-green=1, light green=2, green=3, gray-green=4, dark green=5
X7	叶面毛刺 Foliar burrs	无=0, 少=1, 中=2, 多=3 None=0, less=1, medium=2, more=3
X8	叶面 Foliar	平滑=1, 微皱=2, 皱=3, 多皱=4 Smooth=1, slightly wrinkled=2, wrinkled=3, multi-wrinkled=4
X9	叶缘翻卷 The leaf edge	内卷=1, 平直=2, 外卷=3 Internal competition=1, straight=2, external competition=3
X10	中肋色 Rib color	白=1, 绿白=2, 浅绿=3, 绿=4 White=1, green white=2, light green=3, green=4
X11	中肋横切面形状 Midrib cross-sectional shape	新月=1, 半圆=2, 扁平=3, 近三角=4, 多戟形=5 Crescent=1, semi-circle=2, flat=3, near triangle=4, multi-armed=5
X12	结球性 Head-forming	不结球=1, 半结球=2, 结球=3 None ball=1, half ball=2, ball=3
X13	叶球形状 Leaf head shape	扁球形=1, 近圆球形=2, 炮弹形=3, 短筒形=4, 长筒形=5, 高坛形=6, 矮桩形=7, 卵圆形=8, 倒卵形=9 Flat spherical=1, nearly spherical=2, projectile shaped=3, short tube shaped=4, long tube shaped=5, high jar shaped=6, short pillar shape=7, oval shape=8, inverted oval shape=9
X14	叶球顶形状 Leaf dome shape	平=1, 尖=2, 圆=3 Flat=1, pointed=2, circle=3
X15	叶球抱合类型 Leaf head conjugation type	叠抱=1, 合抱=2, 拧抱=3, 翻心=4 Overlapping=1, hugging=2, twisting=3, turning heart=4
X16	叶球心 Leaf head heart	包心=1, 花心=2, 拧心=3 Wrap heart=1, flower heart=2, twist heart=3
X17	叶球外露性 Leaf head exposed	不露=1, 轻露=2, 露=3 No dew=1, light dew=2, dew=3
X18	球叶叠合度 Superposition of the leaf head	外卷不叠合=1, 直立不叠合=2, 内卷不叠合=3, 叶尖触合=4, 轻微叠合=5, 中等叠合=6, 完全叠合=7 Outer volume does not overlap=1, upright does not superimpose=2, involution does not superimpose=3, leaf tip contact=4, slight overlap=5, medium overlap=6, complete overlap=7
X19	叶球颜色 The color of the leaf head	白=1, 浅黄绿=2, 黄=3, 橘黄=4, 浅绿=5, 绿=6 White=1, light yellow green=2, yellow=3, orange yellow=4, light green=5, green=6
X20	叶球内叶颜色 The color of the inner lobe of the leaf head	白=1, 浅黄=2, 黄=3, 橘黄=4, 浅绿=5 White=1, light yellow=2, yellow=3, orange yellow=4, light green=5
X21	短缩茎侧芽萌发 Shortened stem lateral buds germinate	无=0, 有=1 None=0, yes=1
X22	短缩茎形状 Shortened stem shape	扁圆=1, 圆=2, 长圆=3, 锥形=4 Flat circle=1, circle=2, long circle=3, cone=4
X23	叶球紧实度 Leaf head compactness	松=1, 中=2, 紧=3, 极紧=4 Loose=1, medium=2, tight=3, extremely tight=4
X24	叶球风味 Leaf head flavor	淡=1, 甜=2, 辣=3, 苦=4 Pale=1, sweet=2, spicy=3, bitter=4
X25	叶球质地 Leaf head texture	脆嫩=1, 干软=2 Crispy and tender=1, dry and soft=2
X26	花茎颜色 Flower stem color	黄绿=1, 浅绿=2, 绿=3, 红绿=4, 紫=5 Yellow-green=1, light green=2, green=3, red green=4, purple=5

表 3 (续) Table 3 (Continued)		
代码 Code	性状 Trait	赋值 Assignment
X27	花色 Petal color	白=1, 浅黄=2, 黄=3, 深黄=4, 橙黄=5 White=1, light yellow=2, yellow=3, dark yellow=4, orange=5
X28	花瓣形状 Petal shape	近圆形=1, 倒卵形=2, 长倒卵=3 Nearly round=1, obovate=2, long obovate=3
X29	角果表面 Horn fruit surface	光滑=1, 波浪=2, 种子间收缩=3 Smooth=1, wave=2, interseed-to-seed shrinkage=3
X30	角果颜色 Horn fruit color	黄绿=1, 浅绿=2, 深绿=3, 紫绿=4 Yellow-green=1, light green=2, dark green=3, purple green=4

环境下,不同种质资源的表型性状有明显差异,在叶球质量、叶球纵径、叶球横径、中肋长、中肋厚度以及短缩茎高度等性状方面,种间差异明显。由表 4 可知,67 份大白菜资源中有 59.70%的资源有短缩茎侧芽萌发。大部分为结球大白菜,分布频率占比为 88.06%,在结球大白菜中,分析叶球相关性状发现,大部分资源的叶球形状为高坛形,占比 35.82%,其次为矮桩形,占比 14.92%;结球大白菜中大部分为包心大白菜,其余资源为翻心大白菜;有 47.80%的资源叶球紧实度较松,有 28.35%的资源叶球紧实度中,有 17.91%的资源叶球紧,有 5.97%的资源叶球极紧。分析叶球顶形状发现,59.32%的资源叶球顶较尖,25.42%的资源叶球顶较平。分析叶球外露性发现,有 42.37%的资源叶球轻露,有 35.59%的资源叶球外露;大部分资源为球叶叶尖触合,占比为 27.12%,其次为直立未叠合与完全叠合,占比均为 18.64%。分析叶球颜色发现,大部分资源叶球为浅绿色,其次为浅黄绿色和绿色,没有叶球橘黄色的资源。有 59.70%的资源叶球内叶颜色为黄色,其次为浅黄色,占比 20.90%。分析叶球风味发现,49.25%的资源口感较淡,有 46.30%的资源口感较甜。分析叶球质地发现,有 88.05%的资源叶球脆嫩。

分析大白菜叶相关性状发现,叶片形状多为长卵形,占比 53.73%。叶顶端多为钝尖和圆形,占比分别为 32.83%、49.25%;多数大白菜资源叶缘为全缘和波状,均占 44.80%;71.64%的资源叶缘波纹较小;56.71%的资源外叶裂刻为浅裂、叶色为绿色;86.60%的资源叶缘外卷。分析中肋相关性状发现,67 份大白菜资源中肋色大多为白色和绿白色,占比分别为 52.23%和 34.32%;中肋横切面形状大部分为扁平 and 近三角形,占比均为 32.83%,其次为新月形,占比 19.40%。分析大白菜花期关键性状发现,有 55.22%的资源花茎颜色为浅绿色,其次为绿色,

占比 40.30%;大部分大白菜资源花色为黄色,占比为 80.60%;有 53.73%的资源花瓣呈倒卵形,其次为长倒卵形,占比 35.82%。分析角果相关性状发现,有 40.30%的资源角果表面光滑,有 37.31%的资源角果表面呈波浪形,有 22.40%的资源角果表面呈种子间收缩状态;大部分角果为浅绿色,占比 88.06%,其余资源为深绿色。

对 67 份大白菜种质资源的 30 个质量性状进行多样性分析(表 4),发现各质量性状变异系数在 13.89%~95.25%之间,平均为 44.98%。其中叶面刺毛的变异系数最大,其次为短缩茎侧芽萌发和叶球抱合类型,叶缘翻卷变异系数最小。本研究中 50 个性状的变异系数均大于 10%,说明 67 份大白菜种质资源种间差异较大,叶面刺毛、短缩茎侧芽萌发、叶球抱合类型、短缩茎高度、中肋厚度、单株总质量等变异程度较高,变异度高,有利于优异种质材料的筛选。

由表 5 可知,20 个表型数量性状的变异系数存在较大差异,在 17.53%~56.56%之间,平均为 35.98%。其中,短缩茎高度的变异系数最大,其变幅为 1.20~18.00 cm,均值为 5.01 cm;其次是中肋厚度(55.94%),变幅为 0.60~6.20 cm,均值为 1.17 cm。变异系数低于 20%的性状分别为角果长度、外叶宽和株幅,其中角果长度的变异系数最小,为 17.53%,变幅为 3.10~9.80 cm,均值为 6.33 cm。

2.2 相关性分析

大白菜表型性状相关性分析结果(图 1)显示,50 个表型性状间存在不同程度的关联。分析叶球相关性状发现,结球性与叶球形状、叶球顶形状、球叶叠合度、外叶宽呈中度正相关;叶球抱合类型与叶球心呈高度正相关;叶球心与叶球外露性呈高度正相关;叶球外露性与叶球纵径呈高度正相关;球叶叠合度与叶球横径呈高度正相关;叶球紧实度与叶球横径呈高度正相关。分析产量相关性状发现,

表 4 大白菜种质资源质量性状多样性分析
Table 4 Diversity analysis of quality traits of Chinese cabbage germplasm resource

代码 Code	质量性状 Quality trait	分布频率 Distribution frequency/%										变异系数 Coefficient of variation/%
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
X1	叶形 Leaf shape		20.90	53.73	13.43	7.50	0.00	4.50				50.47
X2	叶顶端形状 Leaf apical shape		10.44	32.83	49.25	7.50						30.70
X3	叶缘波纹 Leaf margins corrugated	1.50	71.64	22.40	4.50							44.16
X4	叶缘齿状 Leaf margin tooth shape		44.80	44.80	7.50	2.98						43.71
X5	外叶裂刻 The outer leaves cracked	17.91	56.71	25.40								60.83
X6	叶色 Leaf color		7.50	20.90	56.71	1.50	13.43					35.10
X7	叶面刺毛 Foliar burrs	38.80	29.85	25.40	5.97							95.25
X8	叶面 Foliar		23.90	58.20	16.41	1.50						34.71
X9	叶缘翻卷 The leaf edge rolled		1.50	11.94	86.60							13.89
X10	中肋色 Rib color		52.23	34.32	7.50	5.97						51.04
X11	中肋横切面形状 Midrib cross-sectional shape		19.40	11.94	32.83	32.83	2.98					40.02
X12	结球性 Head-forming		11.94	0.00	88.06							23.49
X13	叶球形状 Leaf head shape		5.08	3.38	3.38	6.78	8.52	40.68	16.95	5.08	10.17	50.91
X14	叶球顶形状 Leaf dome shape		25.42	59.32	15.25							51.04
X15	叶球抱合类型 Leaf head conjugation type		59.32	11.86	0.00	28.81						79.98
X16	叶球心 Leaf head heart		71.19	28.81								52.53
X17	叶球外露性 Leaf bulb exposed		35.59	42.37	22.03							56.38
X18	球叶叠合度 Spherical blade superposition		15.25	18.64	6.78	27.12	6.78	6.78	18.64			67.37
X19	叶球颜色 Leaf head color		13.43	19.40	8.95	0.00	38.80	19.40				46.12
X20	叶球内叶颜色 The color of the inner lobe of the leafhead		14.92	20.90	59.70	0.00	4.50					34.86
X21	短缩茎侧芽萌发 Shortened stem lateral buds germinate	40.30	59.70									82.16
X22	短缩茎形状 Shortened stem shape		26.90	43.28	1.50	28.35						49.66
X23	叶球紧实度 Leaf head compactness		47.80	28.35	17.91	5.97						51.03
X24	叶球风味 Leaf head flavor		49.25	46.30	1.50	2.98						42.51
X25	叶球质地 Leaf head texture		88.05	11.94								28.97
X26	花茎颜色 Flower stem color		4.50	55.22	40.30							23.97
X27	花色 Petal color			17.91	80.60	1.50						14.41
X28	花瓣形状 Petal shape		10.44	53.73	35.82							28.00
X29	角果表面 Horn fruit surface		40.30	37.31	22.40							42.35
X30	角果颜色 Horn fruit color			88.06	11.94							15.30

表 5 大白菜种质资源数量性状变异与多样性分析

Table 5 Variation and diversity analysis of quantitative traits of cabbage germplasm resource

代码 Code	数量性状 Quantitative trait	变异幅度 Variation	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 CV/%
X31	外叶数 Number of outer leaves	4.00~18.00	8.46	2.33	27.60
X32	株高 Plant height/cm	29.50~91.00	51.73	13.10	25.33
X33	株幅 Plant width degree/cm	30.00~86.00	62.97	12.32	19.57
X34	外叶长 Outer leaf length/cm	32.00~81.00	51.13	11.13	21.76
X35	外叶宽 Outer leaf width/cm	18.00~48.60	31.11	6.07	19.51
X36	单株总质量 Total mass per plant/kg	1.15~10.70	4.32	2.09	48.36
X37	叶球质量 Leaf head mass/kg	0.85~5.35	2.62	1.17	44.45
X38	叶球纵径 Leafhead longitudinal diameter/cm	0.00~69.50	34.82	16.93	48.62
X39	叶球横径 Leaf head transverse diameter/cm	0.00~28.00	13.11	6.02	45.92
X40	中肋长 Midrib length/cm	0.50~14.30	5.95	2.82	47.44
X41	中肋宽 Midrib width/cm	2.40~13.00	7.17	1.83	25.55
X42	中肋厚度 Midrib thickness/cm	0.60~6.20	1.17	0.65	55.94
X43	球叶中肋质量 Bulbar midrib mass/kg	0.15~1.19	0.52	0.21	40.39
X44	短缩茎高度 Shortened stem height/cm	1.20~18.00	5.01	2.83	56.56
X45	短缩茎横径 Transverse diameter of shortened stem/cm	2.10~8.50	4.62	1.20	25.94
X46	短缩茎质量 Shortened stem mass/kg	0.05~0.55	0.20	0.09	42.85
X47	主花茎粗 The thickness of main flower stem/cm	0.50~5.90	2.06	0.91	44.38
X48	开花植株高度 Height of flowering plants/cm	58.00~170.00	118.67	29.43	24.80
X49	角果长度 Horn fruit length/cm	3.10~9.80	6.33	1.11	17.53
X50	角果宽度 Corner fruit width/mm	1.50~10.00	5.84	1.68	28.80

单株总质量与叶球质量、短缩茎横径、主花茎粗、开花植株高度呈高度正相关,叶球质量与主花茎粗、开花植株高度呈高度正相关,株高与外叶长、叶球纵径、中肋长呈高度正相关,三者均与多项短缩茎、中肋性状呈中度正相关。

分析叶片相关性状发现,外叶数与叶球横径呈高度正相关;外叶长与叶球纵径、中肋长呈高度正相关。分析短缩茎相关性状发现,短缩茎形状与短缩茎高度呈高度正相关;短缩茎高度与短缩茎质量呈高度正相关。短缩茎横径与短缩茎质量、开花植株高度呈高度正相关。分析中肋相关性状发现,中肋横切面形状与叶球纵径、短缩茎高度、短缩茎质量呈高度正相关。分析花期相关性状发现,花色与株高、外叶长、叶球纵径呈高度负相关;主花茎粗与开花植株高度呈高度正相关。

2.3 主成分分析

对大白菜资源的 50 个表型性状进行主成分分

析,结果如表 6 所示。以特征值大于 1 为提取标准,共筛选出 17 个主成分,累计贡献率达 80.59%,涵盖了多数表型性状的核心信息。各主成分的方差贡献率分别为 14.06%、10.90%、8.62%、5.52%、5.19%、4.59%、3.90%、3.88%、3.60%、3.25%、2.96%、2.72%、2.51%、2.40%、2.35%、2.11%和 2.04%,表明前 17 个主成分可有效代表 50 个表型性状的大部分表达信息。第一主成分可作为反映大白菜产量相关的综合指标;第二主成分能够综合体现大白菜结球相关性状特征;第三主成分可作为表征大白菜叶球形状的综合指标;第四主成分可用于评判大白菜的抽薹难易程度;第五主成分主要反映叶形、叶面及叶缘波纹信息;第六主成分主要代表角果长度性状,可反映大白菜结荚情况;第七主成分反映球叶中肋质量特征;第八主成分主要代表大白菜株幅性状;第九主成分主要反映大白菜短缩茎侧芽萌发情况;第十主成分、第十一主成分与第十二主成分

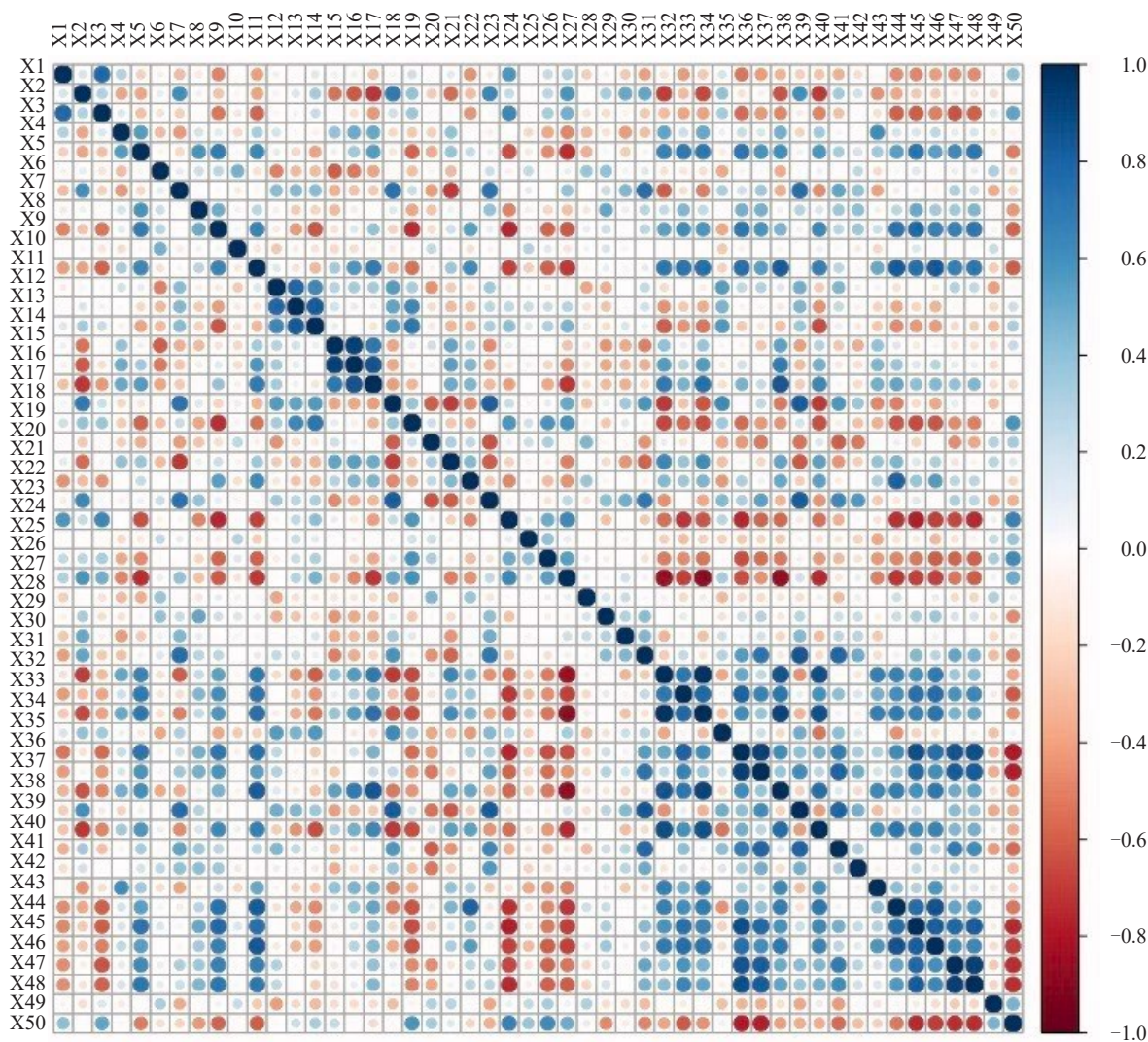


图 1 基于 50 个表型性状的 67 份大白菜种质资源相关性分析
Fig. 1 Correlation analysis of 67 cabbage germplasm resources based on 50 phenotypic traits

主要反映大白菜颜色相关性状,分别代表中肋色、角果颜色、花茎颜色;第十三主成分可反映叶顶端形状信息;第十四主成分与第十五主成分可综合反映中肋相关信息,分别表征中肋长与中肋宽性状;第十六主成分则可体现叶球质地特征。

2.4 聚类分析

聚类分析结果见图 2,67 份材料分为 3 个种群和 1 份独立种质资源,分别包括 51、9、6 和 1 份材料。类别 I 和类别 II 为结球白菜、类别 III 和类别 IV 为不结球白菜。经软件分析分别提取了 4 个分类的典型种质,I~IV 类典型种质的编号分别为 BJ33 (图 2-A)、BJ49 (图 2-B)、BJ75 (图 2-C) 和 BJ58 (图 2-D),表型特征差异明显。数据分析结果与典型特征材料表型一致。

BJ33 新合村白菜采集于黑龙江,为高坛形结球

包心大白菜,其核心表型特征表现为:株高 51 cm、株幅 71 cm,叶球呈叠抱状态,球叶叶尖触合。在产量性状方面,BJ33 单株总质量达 5.05 kg,其中叶球质量 3.50 kg,叶球占比(叶球质量/单株总质量) 69.31%,表明光合产物向叶球的分配效率较高,具有良好的丰产潜力。球叶数为 26 片,叶球紧实度中等,保证了叶球的商品外观,又避免因过度紧实导致的内部腐烂问题。在品质性状方面,BJ33 叶球口感甜且质地脆嫩。此外,该种质无短缩茎侧芽萌发,可减少养分向侧芽的无效消耗,进一步保障叶球的养分积累。这类种质适合作为鲜食结球大白菜育种的核心亲本,尤其在优化叶球形状、提高紧实度和改善口感方面具有重要的利用价值。

BJ49 白胜白菜采集于贵州,属于高坛形结球翻心类型大白菜,株型高大舒展,株高可达 77 cm,株

表 6 大白菜表型性状主成分分析			
Table 6 Principal component analysis of phenotypic traits of Chinese cabbage			
主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	7.03	14.06	14.06
2	5.45	10.90	24.96
3	4.31	8.62	33.58
4	2.76	5.52	39.10
5	2.60	5.19	44.29
6	2.29	4.59	48.88
7	1.95	3.90	52.78
8	1.94	3.88	56.66
9	1.80	3.60	60.26
10	1.62	3.25	63.50
11	1.48	2.96	66.46
12	1.36	2.72	69.18
13	1.25	2.51	71.69
14	1.20	2.40	74.09
15	1.18	2.35	76.44
16	1.06	2.11	78.56
17	1.02	2.04	80.59

幅 82 cm。其球叶呈现直立未叠合状态,球叶数为 13 片。单株总质量达 8.90 kg,其中叶球质量 3.05 kg。叶球紧实度偏松,口感清淡,质地脆嫩。该种质存在短缩茎侧芽萌发特性,为后续繁殖或性状改良提供了更多可能。

BJ75 黄秧白采集于四川,是典型的不结球小白菜种质,株型中等,株高 51 cm,株幅 54 cm,适合密植栽培。单株总质量 1.35 kg,叶球质量 0.90 kg,虽无紧实叶球,但叶片鲜嫩,整体可食用率高。其口感偏淡,质地干软,烹饪后易入味。不结球的特性使其生长周期相对较短,可快速收获,且适应性强,在多种土壤和气候条件下均能良好生长,是补充市场鲜菜供应的优质选择。

BJ58 青菜采集于青海,为不结球油菜型白菜,株型小巧,株高 46 cm,株幅 51 cm,株型类似油菜,适合在空间有限的地块种植。单株总质量 2.50 kg,叶球质量 1.85 kg,球叶数 7 片,叶片肥厚,营养积累丰富,口感清甜,质地脆嫩。该种质的独特风味和形态特征,使其在特色蔬菜种植和菜品开发中具有较高的应用价值,可满足消费者对多样化蔬菜品种的需求。

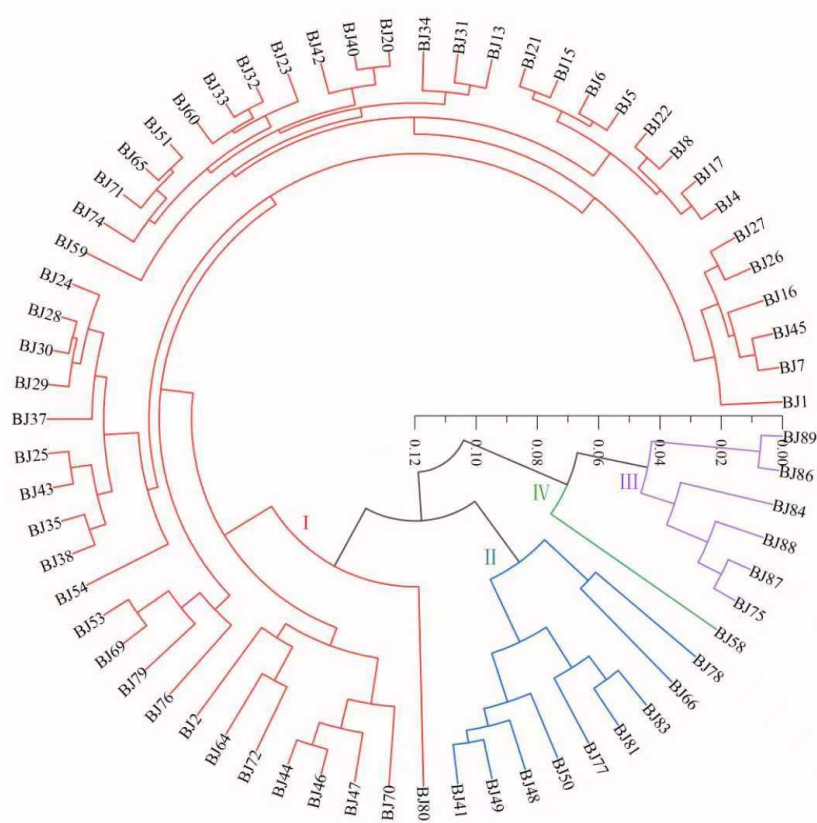


图 2 基于 50 个表型性状的 67 份大白菜种质资源聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of 67 Chinese cabbage germplasm resources based on 50 phenotypic traits

• 79 •



注：A~D 分别代表 4 个分类的典型种质。

Note: A-D represents typical germplasm of the four categories, respectively.

图 3 四类大白菜种质资源代表性图片

Fig. 3 Represent pictures of germplasm resources of Chinese cabbage in the four categories

3 讨论与结论

国家蔬菜种质资源中期库作为我国农作物种质资源保存与利用的重要平台,其保存的资源具有丰富的表型多样性。我国大白菜种质资源遗传变异有限,虽已建成相关基因库,但受种业商业化竞争影响,优良品种遗传基础狭窄,同质化问题突出,抗病及抗逆性下降^[14]。深度再挖掘并利用早期入库的大白菜种质资源能够为种质创新提供丰富的基因源,从而加速新品种选育进程,为解决当前大白菜育种中遗传基础狭窄、品种同质化等问题提供重要支撑。

笔者对 67 份大白菜种质资源的 50 个关键表型性状进行系统分析,结果显示,其遗传多样性较为丰富,其中 30 个质量性状的变异系数范围为 13.89%~95.25%,20 个数量性状的变异系数在 17.53%~56.56%之间,平均为 35.98%。变异系数作为评价种质资源表型性状离散程度的重要指标,一般变异系数小于 10%为变异程度较小,10%~20%为变异程度中等,大于 20%为变异程度较高^[15]。在本研究中,大白菜种质资源短缩茎高度这一性状的变异表现尤为突出,其变幅为 1.20~18.00 cm,变异系数高达 56.56%,这一结果远高于范伟强等^[10]在 33 个大白菜品种的表型多样性分析中发现的 33.86%的变异系数,增幅达 22.70 百分点。进一步分析短缩茎相关性状发现,短缩茎质量的变异系数为 42.85%,同样处于较高水平,而短缩茎横径的变异程度相对较低。这一结果表明,在供试资源中,短缩茎质量的改变主要来自于短缩茎的高度变化。在多样品多指标综合评价中,主成分分析和聚类分

析应用广泛。主成分分析通过降维方式,用少量综合指标替代多个原始指标的大部分信息,将复杂问题简单化,能有效反映样品的基本特征^[16]。本研究以特征值大于 1 为标准,筛选出 17 个主成分,累计贡献率达 80.59%,高于肖艳等^[17]的研究结果,涵盖产量、结球性、叶球特征等核心信息。其中第一主成分反映产量相关性状,第二主成分体现结球特性,第三主成分表征叶球形状,其余主成分分别与叶部特征、品质性状等相关,为综合评价种质资源提供了简化指标,从而加速优异新材料和优良新品种的创制^[18]。聚类分析结果显示,67 份大白菜资源可分为 4 类,即类别 I(高坛形包心大白菜)、类别 II(高坛形翻心大白菜)、类别 III(小白菜)和类别 IV(油菜型白菜),每类均具有明显的表型特征,其中类别 I 和类别 II 为结球白菜,类别 III 和类别 IV 为不结球白菜,可作为不同育种目标的核心亲本。与魏书洞等^[8]将大白菜资源按株型聚为 5 类的研究相比,本研究聚类以结球性差异为主要依据,各类群表型特征独特。67 份资源中虽以结球白菜为主(占 88.06%),但包含 11.94%的不结球白菜,这类资源具有生长周期短、适应性广等优势,其优异性状可作为重点利用对象^[19-20]。此外,叶球风味评价显示,49.25%的资源口感较淡,46.30%的资源口感偏甜,88.05%的资源叶球质地脆嫩,育种中可优先选择口感甜且脆嫩的材料,培育更适用于鲜食和加工的新品种。当前大白菜育种向多元化、优质化、高效化推进,除品质、抗性、周年生产及产品多样化需求外,机械化适配、多抗、肥水高效利用及优质营养功能型品种培育已成为核心方向^[21]。

笔者将基于本研究筛选出的优异资源创制新

的育种材料,进一步拓宽大白菜育种基础。前人已通过远缘杂交等手段取得了诸多突破,张德双等^[22]利用大白菜与紫色叶用芥菜杂交创制出深紫色大白菜-芥菜附加系,蒋顺顺等^[23]通过大白菜与甘蓝杂交培育出高抗根肿病新材料,魏英霞^[24]研究发现,*BrWRKY46*和*BrWRKY70*通过与部分水杨酸途径相关基因互作提高大白菜对根肿病的抗性,这类技术路径为突破大白菜遗传基础狭窄的瓶颈问题提供了有效借鉴。本研究所用的67份大白菜种质资源表型特征变异丰富,类群划分明晰,可作为种质创新的核心基础材料。后续通过杂交、分子辅助育种等多种手段聚合多种优异性状,创制兼具丰产、优质、多抗等特性的新种质,进一步推动大白菜育种产业高质量发展。

综上所述,聚类分析将供试的67份大白菜种质资源分为结球白菜(高坛包心、高坛翻心)和不结球白菜(小白菜、油菜型白菜)四类,其表型性状遗传多样性丰富,其中叶面刺毛、短缩茎侧芽萌发、叶球抱合类型变异程度较高。单株总质量、叶球质量等产量性状与株高、短缩茎粗及开花植株高度呈高度正相关,可作为大白菜丰产育种的核心协同选择指标。主成分分析表明,前17个主成分的累计贡献率达到80.59%,涵盖了产量、结球性、叶球特征和品质等核心信息,能够用少数综合指标实现种质资源的高效评价。本试验的大白菜种质资源变异丰富且类型多样,可有针对性地对接高产、优质、特色等育种需求,为不同育种方向提供优质亲本材料,能有效解决当前大白菜育种中存在的遗传基础狭窄和品种同质化等关键问题。

参考文献

- [1] 王秀峰,蔬菜栽培学各论[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [2] 张妮南,薛一花,吴俊清,等.大白菜黄子叶突变体的遗传分析及其基因定位[J].农业生物技术学报,2022,30(11):2077-2085.
- [3] 李彦军,李婷婷,田松,等.北方大白菜反季节绿色栽培技术[J].长江蔬菜,2023(12):69-71.
- [4] 南京中医药大学.中药大辞典[M].上海:上海科学技术出版社,2006.
- [5] 张丽莉,张瑞清,曹守军,等.不同叶色大白菜花期光合特性研究[J].北方园艺,2025(6):42-49.
- [6] 王效睦,白静,谢坤,等.我国大白菜种质资源的研究与利用[J].山东农业科学,2016,48(3):143-149.
- [7] 张斌,苏同兵,李佩荣,等.大白菜生物育种研究进展[J].蔬菜,2025(增刊1):67-78.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 范伟强,尹婧,王超楠,等.33个大白菜品种表型遗传多样性评价[J].中国瓜菜,2021,34(10):32-38.
- [11] 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.
- [12] 李锡香,孙日飞.大白菜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [13] 过聪,关伟,曾祥国,等.现代月季品种表型性状分析与评价[J].中国农业科学,2019,52(24):4632-4646.
- [14] 张凤兰,张斌,苏同兵,等.“十四五”我国大白菜遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2026(1):11-14.
- [15] 张斌斌,蔡志翔,沈志军,等.观赏桃种质资源表型性状多样性评价[J].中国农业科学,2021,54(11):2406-2420.
- [16] 庄萍萍,李伟,魏育明,等.波斯小麦农艺性状相关性主成分分析[J].麦类作物学报,2006,26(4):11-14.
- [17] 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.
- [18] 于翠香,谭化,张海燕,等.吉林省引进甜瓜种质资源表型遗传多样性分析[J].江苏农业科学,2023,51(7):147-153.
- [19] 杨华.不结球白菜的收集、保存与遗传多样性分析[D].武汉:华中农业大学,2008.
- [20] 吴擎柱.江苏不同地区不结球白菜栽培技术调查及高效栽培技术优化试验[D].南京:南京农业大学,2018.
- [21] 张凤兰,苏同兵,张斌,等.中国大白菜育种70年回顾与展望[J].园艺学报,2025,52(5):1111-1135.
- [22] 张德双,辛晓云,赵鸿,等.深紫色大白菜-芥菜附加系的创制及特性分析[J].中国蔬菜,2021(9):48-52.
- [23] 蒋顺顺,初梦玉,杨槿曦,等.芸薹属种间杂交聚合创制高抗根肿病新材料[J].园艺学报,2025,52(5):1271-1284.
- [24] 魏英霞.芸薹根肿菌胁迫下白菜*BrWRKY46*和*BrWRKY70*基因表达特性及功能分析[D].沈阳:沈阳农业大学,2024.