

50 个不结球白菜杂交组合综合评价及优异组合的品比试验

路 蓉¹, 李翠萍¹, 金安心¹, 赵晓峰², 陈格桃², 逯明辉¹, 惠麦侠¹

(1. 西北农林科技大学园艺学院 陕西杨凌 712100; 2. 宝鸡市农业技术推广服务中心 陕西宝鸡 721000)

摘要: 为筛选出适应不同季节栽培的优质不结球白菜组合并提升其周年生产水平, 以 50 个杂交组合为试验材料, 采用主成分分析和隶属函数法等多元统计方法对其农艺性状进行综合评价。结果表明, 各性状遗传变异系数均大于 10%, 其中叶柄长、株高和叶宽具有较高改良潜力, 根据市场偏好筛选出 15 个商品性优良的组合。基于主成分分析提取出 4 个累计贡献率达 71.43% 的关键因子, 进一步隶属函数分析鉴定出 14 个综合性状优于对照品种冬之先的组合, 在两次筛选中 Z2、Z23、Z31、Z33、Z36、Z37、Z46 等 7 个组合均表现突出。优异组合进一步品比试验显示, Z21、Z23 商品性状好兼具耐抽薹与高产特性, 适宜早春和越冬栽培, 而 Z31、Z33 等虽高产但不耐抽薹, 推荐作为春夏或秋季栽培。

关键词: 不结球白菜; 农艺性状; 综合评价; 优异组合; 品种比较

中图分类号: S634.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)02-041-10

Comprehensive evaluation of 50 non-heading Chinese cabbage hybrid combinations and variety comparison trials of elite combinations

LU Rong¹, LI Cuiping¹, JIN Anxin¹, ZHAO Xiaofeng², CHEN Getao², LU Minghui¹, HUI Maixia¹

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Baoji Agricultural Technology Extension and Service Center, Baoji 721000, Shaanxi, China)

Abstract: To select high-quality non-heading Chinese cabbage varieties suitable for cultivation in different seasons and improve year-round production, 50 hybrid combinations were used as experimental materials. A comprehensive evaluation of their agronomic traits was conducted using multivariate statistical methods, including principal component analysis and the membership function method. The results showed that the genetic variation coefficients of all traits exceeded 10%, with petiole length, plant height, and leaf width exhibiting high improvement potential. Based on market preferences, 15 combinations with superior commercial quality were selected. Principal component analysis extracted four key factors with a cumulative contribution rate of 71.43%. Further membership function method identified 14 combinations with comprehensive traits outperforming the control variety Dongzhixian, among which 7 combinations, including Z2, Z23, Z31, Z33, Z36, Z37 and Z46, performed outstandingly in both screening stages. Comparative trials revealed that Z21 and Z23 demonstrated good commercial traits, combining bolting resistance with high yield, making them suitable for early spring and overwintering cultivation. In contrast, combinations such as Z31 and Z33, though high-yielding but lacked bolting-resistant, were recommended for summer or autumn cultivation.

Key words: Non-heading Chinese cabbage; Agronomic trait; Comprehensive evaluation; Elite combination; Variety comparison

不结球白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino)属十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种, 涵盖了普通白菜、乌塌菜、菜薹、薹菜、菜心以及分蘖白菜这 6 个变种^[1]。因其生长周期短, 种植面积大,

能够实现周年生产, 对于缓解冬春季蔬菜供应短缺、确保全年蔬菜供应平衡发挥着关键作用^[2], 其口感清爽, 含有丰富的营养物质, 成为我国独具特色且备受消费者青睐的重要绿叶蔬菜之一^[3]。近年

收稿日期: 2025-04-17; 修回日期: 2025-10-08

项目基金: 西安市科技计划项目(2023NYGG026); 宝鸡市农技合作项目(2024BJNY-38); 国家现代农业产业技术体系(CARS-23-G-22)

作者简介: 路 蓉, 女, 硕士, 研究方向为农艺与种业。E-mail: 1251608463@qq.com

通信作者: 惠麦侠, 女, 研究员, 主要从事白菜类蔬菜育种与栽培等研究工作。E-mail: maixiahui@163.com

来,随着人们对蔬菜全年供应需求的提升和消费习惯的变化,不结球白菜周年生产效益持续增长,种植面积亦随之扩大。

在种质资源评价过程中,单一评价方法往往存在结果准确性不足、不同方法间结论不一致等问题。采用多元统计分析方法进行综合评价,能够有效减少偏差,提升分析结果的可靠性和科学性。常用的综合评价方法包括主成分分析、聚类分析、相关性分析、神经网络、模糊隶属函数法以及因子分析法等^[4]。其中,结合主成分分析、相关性分析和隶属函数法的综合评价体系应用较为广泛,配合聚类分析还能实现材料的分类筛选。相关研究表明,这种多元评价方法在作物品种筛选中具有显著优势。徐义康等^[5]通过隶属函数值分析比较了 8 个大白菜品种的农艺性状,成功筛选出适合当地栽培的优良品种。赵文菊等^[6]运用多样性指数、主成分分析和隶属函数法对 17 份甘蓝材料进行综合评价,建立了科学的品种排序体系。李建忠等^[7]通过对 14 份芥菜的 9 个品质指标进行多元统计分析,筛选出 2 个营养品质突出的品种。侯赵玉等^[8]采用多元统计方法对 140 个芍药品种的耐热性进行分级评价,将其划分为优、良、中、差 4 个等级,显著提高了分类准确性。

为应对市场对不结球白菜的多样化需求及周年生产对品种适应性的迫切要求,本研究以 50 个杂交组合为材料,基于主成分分析与隶属函数法的综合评价体系,筛选出优异组合开展品种比较试验。通过对其在春、秋两季栽培条件下的表型性状调查分析,重点评估组合在不同季节的适应性表现,为满足不结球白菜市场多元化需求提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

综合评价供试材料为 50 个不结球白菜杂交组合(Z1~Z50),由 6 个稳定雄性不育系(A 系列)为母本与 15 个纯合自交系(S 系列)为父本不完全杂交而来,均由西北农林科技大学园艺学院十字花科课题组保存与提供。以当地主栽品种 CK1(冬之先,耐抽薹,陕西秦兴种苗有限公司)、自交系 CK2(S110,易抽薹)为对照。

1.2 田间试验

试验均于西北农林科技大学曹新庄试验基地进行,按不结球白菜常规的种植方法进行田间管理,水肥管理一致。综合评价田间试验采用穴盘育

苗,每个杂交组合播种 50 株,于 2024 年 2 月 24 日在棚内育苗,3 月 31 日移栽至露地(株行距 10 cm,设 2 次重复)。优异组合品比试验于 2024 年 9 月 13 日在大棚内育苗,10 月 3 日定植至试验田中,每个组合一个小区播种 50 株,株行距 10 cm,设 2 次重复,随机区组排列。

1.3 田间农艺性状调查

杂交组合综合评价:定植后 30 d,在 2024 年 4 月 30 日进行农艺性状的调查与测量。各小区去除边株后随机选取生长相对一致的 10 个单株进行调查,记录数据精确至 0.1 cm,而后取平均值。采用米尺和游标卡尺测量株高、株幅、叶片数、叶柄长、叶柄宽、叶长、叶宽等 7 个数量性状指标并记载;观察长势、株型、叶形、叶色、叶面光泽度、叶缘翻卷、叶顶端形状、叶柄形状、叶柄色、叶缘波状等 10 个质量性状指标。具体描述参考《不结球白菜种质资源数据质量控制规范》^[9](表 1)。

优异组合品比试验:分别在不结球白菜商品成熟期 2024 年 10 月 23 日与生理成熟期 2024 年 11 月 11 日对各试验材料进行农艺性状调查和分析。其中,数量性状在商品成熟期和生理成熟期调查 2 次,质量性状在生理成熟期调查 1 次,短缩茎长度分别在 2024 年 11 月 11 日和 2024 年 12 月 17 日调查 2 次。在各试验小区中,首先去除边株后,随机选取 10 株生长状态相对一致的样本进行测定,包括株高、株幅、叶长、叶宽、叶片数、叶柄长、叶柄宽、

表 1 不结球白菜主要质量性状描述的赋值标准
Table 1 Scoring criteria for descriptive major qualitative traits in non-heading chinese cabbage

质量性状 Qualitative trait	赋值标准 Assignment criteria
长势 Growth	1. 弱 Weak; 2. 中 Middle; 3. 强 Strong
叶形 Leaf shape	1. 近圆 Nearly orbicular; 2. 卵圆 Ovate; 3. 长卵圆 Long ovate; 4. 倒卵圆 Obovate; 5. 长倒卵圆 Long obovate; 6. 椭圆 Elliptic; 7. 长椭圆 Oblong; 8. 披针形 Lanceolate
叶色 Leaf color	1. 黄绿 Yellow green; 2. 浅绿 Light green; 3. 绿 Green; 4. 深绿 Dark green; 5. 墨绿 Black green; 6. 紫绿 Purple green; 7. 紫 Purple; 8. 灰绿 Gray green
叶面光泽度 Leaf glossiness	0. 无 None; 1. 弱 Weak; 2. 中 Intermediate; 3. 强 Strong
叶缘翻卷 Leaf margin curving	1. 上卷 Curving upwards; 2. 平 Flat and straight; 3. 下卷 Curving downwards
叶柄色 Petiole color	1. 白 White; 2. 绿白 Green white; 3. 浅绿 Light green; 4. 绿 Green; 5. 深绿 Dark green; 6. 紫绿 Purple green; 7. 紫 Purple

短缩茎长度、单株质量、小区产量等 10 个数量性状指标。同时观察各试验材料的长势、株型、束腰性、叶形、叶色、叶面光泽度、叶缘翻卷、叶柄色、叶柄形状、短缩茎形状等 10 个质量性状指标并记录。具体描述参考《不结球白菜种质资源描述规范》^[9]。

1.4 数据统计与处理

利用 Office 2020 进行数据处理,利用 IBM SPSS Statistics 26 进行数据分析(主成分分析和隶属函数分析)。

2 结果与分析

2.1 杂交组合主要数量性状遗传变异分析

性状变异大小与后代变异程度高低呈正比,变异系数大于 10%,说明该性状在种质个体间差距较大,同时改良价值也较大。不结球白菜农艺性状遗传变异分析结果如表 2 所示。各性状变异系数范围在 10.88%~30.84%,均大于 10%。变异系数由大到小排列为叶柄长>株高>叶宽>叶柄宽>叶长>株

表 2 不结球白菜杂交组合主要数量性状变异分析

Table 2 Analysis of genetic variation for major quantitative traits in hybrid combinations of non-heading Chinese cabbage

性状 Trait	最小值 Min	最大值 Max	均值 Average	标准偏差 SD	变异系数 CV/%
株高 Plant height/cm	6.50	18.00	10.06	2.52	25.07
株幅 Plant width/cm	17.17	28.00	21.79	2.63	12.05
叶片数 Leaf number	11.33	18.00	13.96	1.52	10.88
叶长 Leaf length/cm	10.50	21.67	14.72	2.51	17.04
叶宽 Leaf width/cm	5.67	19.70	8.73	2.12	24.33
叶柄长 Petiole length/cm	2.90	8.67	4.76	1.47	30.84
叶柄宽 Petiole width/cm	1.07	2.97	2.11	0.43	20.16

幅>叶片数。株幅和叶片数的变异系数较小,也表示其遗传改良潜力相对较小。可以通过对不结球白菜叶柄长、株高、叶宽、叶柄宽等变异系数较大且与产量相关的性状进行选择,进而筛选出商品性、产量性状表现优良的组合。

2.2 杂交组合质量性状分析

对 50 个杂交组合及 2 个对照进行植物学性状调查与统计(表 3)。根据统计结果可知,各杂交组合的植物学性状也有较大差异,但所有的杂交组合的束腰性均为不束腰(春季未生长至成株期便现蕾抽薹,可能影响其束腰性状),叶脉都不鲜明,叶面均平滑不皱缩(未在表 3 列出)。

在长势方面,有 21 个杂交组合表现为长势强;在株型方面,根据植株叶片生长紧凑程度,将其划分为紧凑(30 个)、较紧凑(9 个)、较散(Z2、Z19、Z24)、散(Z13、Z36、Z40)4 类。在叶形方面,有长卵形(35 个)、卵圆形(11 个)、近圆形(Z22)、长倒卵形(Z9、Z10、Z16)4 种类型。在叶顶端形状中,绝大多数组合表现为阔圆形(47 个);在叶缘翻卷方面,有上卷(17 个)和平直(33 个)两种类型。在叶缘波状方面,有 18 杂交组合表现为叶缘波状,27 个杂交组合叶缘平滑。

在调查的 50 个杂交组合中,光泽度强的 13 份,光泽度中等的 3 份,光泽度弱的 4 份,30 个杂交

组合叶面无光泽。在叶色方面,有黄绿色(1 个),浅绿色(6 个)、绿色(17 个)、深绿色(16 个)、墨绿色(3 个)、灰绿色(7 个)。叶柄相关性状中,叶柄颜色有绿(14 个)、绿白(7 个)、浅绿(29 个)3 种表型;叶柄形状以扁圆形居多,有 39 个,半圆有 11 份。

2.3 杂交组合主要农艺性状主成分分析

选择对不结球白菜商品性影响较大的质量性状进行赋值(表 1),再与数量性状一起进行主成分分析。不结球白菜杂交组合主要农艺性状主成分矩阵特征值、贡献率、累计贡献率和向量关系如表 4 所示。根据特征值>1 的原则,提取 4 个主成分,累计贡献率达 72.90%,表明前 4 个主成分因子可代表 13 个农艺性状指标的大部分信息。主成分 1 的株高、株幅、叶长、叶宽、叶柄长、长势等 6 个性状载荷较大,其中叶长、叶柄长的正向载荷最大,可将该成分概括为株型因子。主成分 2 的叶色、叶柄色、叶面光泽度载荷较大,叶色与叶柄色的载荷值最大,可将其概括为叶色因子。主成分 3 的叶片数和叶柄宽载荷较大,主成分 4 的叶形和叶缘翻卷载荷较大,均为正向载荷,可将其统一概括为叶形因子。

2.4 杂交组合主要农艺性状隶属函数综合分析

依据主成分分析提取出 4 个因子,计算每个杂交组合及对照所对应的隶属函数值,进行综合分析,从而对杂交组合按照农艺性状优劣进行综

表 3 不结球白菜杂交组合质量性状调查统计
Table 3 Survey of qualitative traits in hybrid combinations of non-heading chinese cabbage

编号 Number	长势 Growth	株型 Plant type	叶形 Leaf shape	叶色 Leaf color	叶面光 泽度 Leaf glossiness	叶缘翻卷 Leaf margin curving	叶柄色 Petiole color	叶柄形状 Petiole shape	叶顶端形 状 Leaf apex shape	叶缘波状 Leaf margin undulation
CK1	强 Strong	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	绿 Green	强 Strong	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
CK2	弱 Weak	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	绿 Green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z1	中 Middle	较紧凑 Relatively compact	卵圆 Ovate	绿 Green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z2	强 Strong	较散 Relatively sparse	长卵圆 Oblong	绿 Green	弱 Weak	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z3	/	/	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	/
Z4	/	/	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	圆 Circle	/
Z5	/	/	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	无 None	上卷 Curving upwards	绿 Green	扁圆 Flat spherical	圆 Circle	/
Z6	/	/	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	/
Z7	/	/	长卵圆 Oblong	浅绿 Light green	无 None	平 Flat and straight	绿白 Green white	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	/
Z8	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z9	中 Middle	较紧凑 Relatively compact	长倒卵圆 Long obovate	绿 Green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z10	中 Middle	较紧凑 Relatively compact	长倒卵圆 Long obovate	绿 Green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z11	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	弱 Weak	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z12	弱 Weak	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z13	中 Middle	散 Scatter	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	平 Flat and straight	绿 Green	扁圆 Flat spherical	圆 Circle	无 None
Z14	中 Middle	较紧凑 Relatively compact	长卵圆 Oblong	灰绿 Gray green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z15	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	浅绿 Light green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z16	中 Middle	紧凑 Compact	长倒卵圆 Long obovate	绿 Green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z17	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	灰绿 Gray green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z18	中 Middle	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	深绿 Dark green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z19	中 Middle	较散 Relatively sparse	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	弱 Weak	上卷 Curving upwards	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating

表 3 （续）
Table 3 （Continued）

编号 Number	长势 Growth	株型 Plant type	叶形 Leaf shape	叶色 Leaf color	叶面光 泽度 Leaf glossiness	叶缘翻卷 Leaf margin curving	叶柄色 Petiole color	叶柄形状 Petiole shape	叶顶端形 状 Leaf apex shape	叶缘波状 Leaf margin undulation
Z20	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	浅绿 Light green	无 None	平 Flat and straight	绿白 Green white	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z21	强 Strong	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	深绿 Dark green	强 Strong	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z22	中 Middle	紧凑 Compact	近圆 Close to round	深绿 Dark green	无 None	平 Flat and straight	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z23	强 Strong	较紧凑 Relatively compact	卵圆 Ovate	墨绿 Black green	强 Strong	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z24	强 Strong	较散 Relatively sparse	长卵圆 Oblong	灰绿 Gray green	中 Middle	平 Flat and straight	浅绿 Light green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None
Z25	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z26	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	黄绿 Yellow	无 None	平 Flat and straight	绿白 Green white	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None
Z27	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	浅绿 Light green	无 None	平 Flat and straight	绿白 Green white	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z28	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	强 Strong	上卷 Curving upwards	绿白 Green white	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z29	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	浅绿 Light green	无 None	平 Flat and straight	绿白 Green white	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z30	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	强 Strong	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z31	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	强 Strong	平 Flat and straight	绿 Green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z32	中 Middle	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	灰绿 Gray green	强 Strong	平 Flat and straight	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z33	中 Middle	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	绿 Green	强 Strong	上卷 Curving upwards	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z34	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	灰绿 Gray green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None
Z35	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	灰绿 Gray green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None
Z36	强 Strong	散 Scatter	卵圆 Ovate	墨绿 Black green	强 Strong	平 Flat and straight	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z37	强 Strong	较紧凑 Relatively compact	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	强 Strong	平 Flat and straight	绿 Green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None
Z38	强 Strong	较紧凑 Relatively compact	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	强 Strong	平 Flat and straight	绿 Green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None
Z39	强 Strong	较紧凑 Relatively compact	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	强 Strong	平 Flat and straight	浅绿 Light green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None
Z40	中 Middle	散 Scatter	卵圆 Ovate	墨绿 Black green	强 Strong	平 Flat and straight	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z41	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None

表 3 (续)
Table 3 (Continued)

编号 Number	长势 Growth	株型 Plant type	叶形 Leaf shape	叶色 Leaf color	叶面光 泽度 Leaf glossiness	叶缘翻卷 Leaf margin curving	叶柄色 Petiole color	叶柄形状 Petiole shape	叶 顶 端 形 状 Leaf apex shape	叶缘波状 Leaf margin undulation
Z42	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	绿 Green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z43	中 Middle	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	中 Middle	平 Flat and straight	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z44	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	无 None	上卷 Curving upwards	绿白 Green white	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z45	强 Strong	较紧凑 Relatively compact	长卵圆 Oblong	浅绿 Light green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z46	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	深绿 Dark green	强 Strong	上卷 Curving upwards	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z47	中 Middle	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	深绿 Dark green	中 Middle	上卷 Curving upwards	绿 Green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z48	中 Middle	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	深绿 Dark green	无 None	平 Flat and straight	浅绿 Light green	扁圆 Flat spherical	阔圆 Oblong	无 None
Z49	中 Middle	紧凑 Compact	卵圆 Ovate	深绿 Dark green	弱 Weak	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	波状 Undulating
Z50	强 Strong	紧凑 Compact	长卵圆 Oblong	灰绿 Gray green	无 None	上卷 Curving upwards	浅绿 Light green	半圆 Semicircle	阔圆 Oblong	无 None

注:Z3~Z7 的“/”表示未能采集到有效指标。
Note: The “/” after Z3- Z7 indicate unable to collect effective indicators.

表 4 不结球白菜杂交组合主要农艺性状的主成分分析与向量关系
Table 4 Principal component analysis and vector relationships of major agronomic traits in hybrid combinations of non-heading chinese cabbage

性状 Trait	主成分 1 PC 1	主成分 2 PC 2	主成分 3 PC 3	主成分 4 PC 4
株高 Plant height	0.821	-0.042	-0.287	0.098
株幅 Plant width	0.809	-0.378	0.093	-0.123
叶片数 Leaf number	-0.009	0.077	0.864	-0.135
叶长 Leaf length	0.924	-0.071	-0.167	0.059
叶宽 Leaf width	0.573	-0.251	0.209	0.392
叶柄长 Petiole length	0.823	0.127	-0.403	-0.079
叶柄宽 Petiole width	0.213	-0.175	0.799	0.015
长势 Growth	0.590	-0.220	0.462	-0.123
叶形 Leaf shape	-0.103	-0.581	-0.138	0.521
叶色 Leaf color	0.160	0.804	0.077	0.185
叶面光泽度 Leaf glossiness	0.562	0.549	0.155	0.061
叶缘翻卷 Leaf margin curving	-0.188	0.098	0.165	0.833
叶柄色 Petiole color	0.169	0.794	0.059	0.120
特征值 Eigenvalue	3.994	2.239	2.003	1.240
贡献率 Contribution rate/%	30.724	17.224	15.411	9.538
累计贡献率 Accumulative contribution rate/%	30.724	47.948	63.359	72.897

合排名。由表5可知,隶属函数值的变异范围在-0.425 3~1.565 5,隶属函数值大于1的有9个,隶属函数值在0~1之间的杂交组合有33个。CK1隶属函数值为0.781 4,排名15。有14个杂交组合排名在对照CK1(冬之先)之前,其中9个杂交组合隶属函数值大于1,5个杂交组合(Z33、Z45、Z36、Z28、Z44,)隶属函数值小于1,这些材料可作为下一步品比试验的优质材料。

2.5 杂交组合综合评价与优异组合的筛选

根据市场对不结球白菜长势强、叶面光泽度高、叶色偏深、叶柄青绿色等商品外观的需求,由11个质量性状(表3)综合评价后筛选出15个商品性好的杂

交组合,分别是Z2、Z11、Z19、Z21、Z23、Z30、Z31、Z33、Z36、Z37、Z40、Z43、Z46、Z47、Z49,这15个杂交组合可满足市场需求,商品性表现优良,以及后续采用主成分和隶属函数方法筛选出排名超对照的14个杂交组合(表5)。两种分析方法均筛选出的有7个,分别是Z2、Z23、Z31、Z33、Z36、Z37、Z46,说明其在50个杂交组合中表现较优。Z21、Z40虽然在隶属函数分析排名中未超过对照,排名分别是16、24,但在商品性综合田间表现中Z21叶色深绿、株型紧凑,Z40叶色墨绿、株型散,并且均耐抽薹,所以这2个杂交组合也可作为优质组合进行下一步试验(图1)。

表5 不结球白菜杂交组合农艺性状隶属函数综合分析

Table 5 Analysis of membership function for agronomic traits in hybrid combinations of non-heading Chinese cabbage

编号 Number	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank	编号 Number	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank	编号 Number	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank	编号 Number	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank
Z39	1.565 5	1	Z44	0.833 3	14	Z35	0.457 4	27	Z16	0.136 9	40
Z46	1.457 8	2	CK1	0.781 4	15	Z19	0.436 8	28	Z27	0.114 7	41
Z38	1.437 6	3	Z21	0.780 6	16	Z34	0.423 4	29	Z20	0.098 5	42
Z37	1.280 3	4	Z49	0.762 6	17	Z11	0.415 3	30	Z9	0.036 3	43
Z24	1.231 3	5	Z50	0.722 1	18	Z17	0.391 3	31	CK2	0.025 5	44
Z31	1.221 4	6	Z25	0.655 8	19	Z26	0.352 9	32	Z42	-0.058 0	45
Z23	1.147 9	7	Z32	0.644 7	20	Z14	0.333 6	33	Z7	-0.058 2	46
Z2	1.094 0	8	Z43	0.598 4	21	Z22	0.313 8	34	Z6	-0.081 6	47
Z47	1.016 8	9	Z48	0.595 7	22	Z29	0.269 1	35	Z5	-0.185 9	48
Z33	0.929 5	10	Z3	0.563 2	23	Z1	0.259 0	36	Z12	-0.215 6	49
Z45	0.862 4	11	Z40	0.518 1	24	Z10	0.189 1	37	Z15	-0.225 5	50
Z36	0.851 4	12	Z8	0.515 7	25	Z41	0.183 3	38	Z13	-0.415 3	51
Z28	0.837 0	13	Z30	0.479 1	26	Z18	0.156 3	39	Z4	-0.425 3	52

2.6 优异组合抽薹性状比较

短缩茎长度及形状是衡量不结球白菜抽薹性状的关键指标,短缩茎越长,越容易抽薹,短缩茎若为锥形,也容易抽薹(表6)。由2024年11月11日的调查结果可知,在短缩茎长度方面,除Z21、Z46为>3.5 cm外,其余材料均小于或等于3.10 cm。在短缩茎形状方面,Z33、Z46为锥形,其余均为圆形或扁圆形;由2024年12月17日第二次调查结果可知,短缩茎长度范围在3.30~4.67 cm,Z23短缩茎最短,Z46短缩茎最长,并已开始现薹,Z31、Z33也开始现薹。在短缩茎形状方面,Z2、Z21、Z23、Z36短缩茎为圆形,其余材料均为锥形。

综合2次短缩茎长度差值来看,Z21短缩茎伸长最慢,仅为0.08 cm,Z23次之,为0.26 cm;Z36、Z37短缩茎伸长较快,分别为1.66、1.97 cm。Z31、

Z33、Z46已出现花蕾,较其余材料更容易抽薹,Z21、Z23较其余材料短缩茎短,伸长慢,形状为圆形,表现更耐抽薹。

2.7 优异组合产量性状比较

由表7可知,在单株质量方面,CK1、Z2、Z31单株质量均在0.4 kg以上,Z21、Z33、Z37、Z46单株质量在0.363~0.384 kg,Z36、Z40单株质量较小,分别为0.220、0.211 kg。在小区产量方面,Z2、Z31小区产量大于对照CK1的20.10 kg;同时Z23、Z46、Z21小区产量也超过19 kg(含19 kg);Z36、Z40小区产量在11 kg以下(含11 kg),处于较低水平。

2.8 优异组合综合评价

通过对10个不结球白菜杂交组合所调查的11个主要农艺性状进行主成分分析,根据特征值大于1的原则共提取3个主成分,累计贡献率为



图 1 最终选择的优异组合田间表型
Fig. 1 The field phenotypes of the finally selected excellent combinations

表 6 不结球白菜优异组合抽薹性状统计
Table 6 Analysis of bolting traits in superior combinations of non-heading Chinese cabbage

编号 Number	2024-11-11		2024-12-17		短缩茎长度差值 Difference in dwarf stem length/cm
	短缩茎长度 Dwarf stem length/cm	短缩茎形状 Dwarf stem shape	短缩茎长度 Dwarf stem length/cm	短缩茎形状 Dwarf stem shape	
CK1	2.57	扁圆形 Flat ovate shape	3.33	扁圆形 Flat-spherical	0.76
Z2	3.05	圆形 Sphericale	3.73	圆形 Spherica	0.68
Z21	3.52	圆形 Spherical	3.60	圆形 Spherical	0.08
Z23	3.04	圆形 Spherical	3.30	圆形 Spherical	0.26
Z31	3.10	扁圆形 Flat-spherical	4.10	锥形(有花蕾)Conical (with flower buds)	1.00
Z33	3.08	锥形 Conical	3.90	锥形(有花蕾)Conical (with flower buds)	0.82
Z36	2.10	扁圆形 Flat-spherical	3.76	圆形 Spherical	1.66
Z37	2.10	扁圆形 Flat-spherical	4.07	锥形 Conical	1.97
Z40	2.20	圆形 Spherical	3.56	锥形 Conical	1.36
Z46	3.57	锥形 Conical	4.67	锥形(有花蕾)Conical (with flower buds)	1.10

92.471%(表 8)。根据主成分分析提取出的特征值进行隶属函数计算,对各材料进行综合排名,隶属函数值越大,说明该组合的综合性表现越好,越适宜该地区种植。由表 9 可知,根据隶属函数值排名,除 Z36、Z40 排名低于对照 CK1 之外,其余材料均高于对照,综合表现优良,属于高产优质材料。

3 讨论与结论

不同地区环境及栽培季节等对不结球白菜品种的需求存在显著差异。部分地区以采收大棵菜

为主,而其他地区则倾向于小棵菜或鸡毛菜;同时,市场对色泽、生育期(如四季品种)等性状的要求也呈现多样化。因此,在大面积推广种植前,需通过引种试验筛选适宜当地需求的品种。对于冬春季品种,首先要满足的就是冬性强,在冬季低温条件下能有较快的生长速度,在春季先低温后高温的气候条件下能晚抽薹,保证农户的经济效益。不结球白菜喜冷凉气候条件,在秋季种植正适宜其自身特性,选择单株质量大、叶色深、抗病性好的品种是稳产高产的关键。这与张素红^[10]所描述的对秋冬

表 7 不结球白菜优异组合产量性状统计

Table 7 Statistical analysis of yield traits in superior combinations of non-heading Chinese cabbage

编号 Number	单株质量 Single plant mass/kg	小区产量 Plot yield/kg	排名 Rank
CK1	0.402	20.10	3
Z2	0.440	22.00	1
Z21	0.380	19.00	6
Z23	0.385	19.25	4
Z31	0.435	21.75	2
Z33	0.363	18.15	8
Z36	0.220	11.00	9
Z37	0.372	18.60	7
Z40	0.211	10.55	10
Z46	0.384	19.20	5

表 8 不结球白菜优异组合农艺性状主成分分析

Table 8 Principal component analysis for agronomic traits in superior combinations of non-heading Chinese cabbage

性状 Trait	主成分 1 PC 1	主成分 2 PC 2	主成分 3 PC 3
株高 Plant height	-0.911	0.104	0.065
株幅 Plant width	-0.098	0.844	0.426
叶片数 Leaf number	0.899	-0.014	0.248
叶长 Leaf length	-0.971	0.179	0.074
叶宽 Leaf width	-0.653	0.54	-0.425
叶柄长 Petiole length	-0.967	0.065	0.027
叶柄宽 Petiole width	0.485	0.787	-0.179
单株质量 Single plant mass	0.653	0.684	-0.294
667 m ² 产量 Yield per 667 m ²	0.870	0.162	-0.444
短缩茎长度 Dwarf stem length	0.543	0.067	0.773
小区产量 Plot yield	0.243	-0.937	-0.228
特征值 Eigenvalue	5.724	3.048	1.399
贡献率 Contribution rate/%	52.039	27.713	12.720
累计贡献率 Acumulative contribution rate/%	52.039	79.752	92.471

季不结球白菜品种要求一致,秋冬季不结球白菜品种需在低温情况下植株生长速度快、采收时间短且耐贮运、单株质量较大、花叶少但叶色翠绿。本研究首先利用叶色、叶面光泽度、长势等对不结球白菜外观商品性有重要影响的质量性状,从 50 个杂交组合中筛选出了适宜当地市场需求的商品性优良的 15 个杂交组合。

植株商品外观是由多个性状综合复杂呈现,仅从单个商品性指标筛选评价组合片面性较高。面对较多指标评价需求时,多元统计分析方法能够通过整合多个评价维度,有效提升研究结论的客观性

表 9 不结球白菜优异组合农艺性状隶属函数分析及排名

Table 9 Membership function analysis and ranking of agronomic traits in superior combinations of non-heading Chinese cabbage

编号 Number	μ_1	μ_2	μ_3	隶属函数值 Membership function value	排名 Rank
Z46	1.000	0.302	1.000	0.791	1
Z31	0.933	0.572	0.678	0.790	2
Z37	0.609	0.590	0.981	0.655	3
Z33	0.893	0.100	0.478	0.598	4
Z2	0.307	1.000	0.515	0.543	5
Z21	0.907	0.032	0.149	0.541	6
Z23	0.676	0.114	0.283	0.454	7
CK1	0.321	0.647	0.000	0.374	8
Z40	0.000	0.000	0.822	0.113	9
Z36	0.020	0.007	0.662	0.104	10

和说服力^[11-12],已广泛用于多种作物的综合评价研究^[13-14]。植株生长指标是植株生长一定时期生物量的积累^[14],植株高矮、叶片数目、叶柄宽厚决定了植株的单株质量,并最终决定其产量,这些生长指标是育种者主要的育种目标^[15-17]。

综上所述,50 个杂交组合通过主成分和隶属函数综合分析,筛选出排名超对照 CK1 的 14 个杂交组合,结合优异组合的秋季栽培评价筛选,其中组合 Z21、Z23 叶色深,光泽度好,商品性优,既耐抽薹又优质高产,春秋两季均可推广种植,组合 Z31、Z33 等虽高产但不耐抽薹,推荐越夏或秋季栽培。未来研究将进一步扩大优异组合在全国不同生态区及季节的引种试验,筛选出适应多样化市场需求的专用优质品种。同时结合配套智能栽培技术,以提升品种的推广价值。

参考文献

[1] 侯喜林,李英,刘同坤.不结球白菜遗传育种与分子生物学研究进展[J].南京农业大学学报,2022,45(5):864-873.

[2] 李桂花,谈近强,陈汉才,等.不同品种小白菜的营养品质比较试验[J].广东农业科学,2016,43(9):26-32.

[3] 庄静,周熙荣,李树林,等.TPS 杂交青菜品种“沪青杂 1 号”的选育[J].上海农业学报,2007(2):65-67.

[4] 姜雪,刘楠,孙永,等.统计分析方法在食品品质评价中的应用[J].食品安全质量检测学报,2017,8(1):13-19.

[5] 徐义康,高飞,施柳,等.利用隶属函数法综合评价 8 个大白菜品种性状[J].浙江农林大学学报,2018,35(5):845-852.

[6] 赵文菊,赵孟良,昝桑,等.17 份球茎甘蓝资源的遗传多样性分析及优异种质筛选[J].江苏农业科学,2024,52(2):159-167.

[7] 李建忠,戴昀,叶鑫雨,等.基于多元统计分析对芥菜营养品质的综合评价[J].中国蔬菜,2024(1):29-37.

(下转第 71 页)