

青海黄南高寒地区大白菜的适应性筛选及评价

樊露泽¹, 边拴灵¹, 欧阳天雨¹, 赵庆圣¹, 马洁², 王莉莉³, 任延靖^{1,4,5}

(1. 青藏高原种质资源研究与利用实验室·青海大学 西宁 810016; 2. 黄南州农牧业综合服务中心 青海黄南 811300; 3. 尖扎县农牧业综合服务中心 青海尖扎 811200; 4. 农业农村部青藏高原种质资源保护与遗传改良重点实验室 西宁 810016; 5. 青海省蔬菜遗传与生理重点实验室 西宁 810016)

摘要:通过对 20 个大白菜品种在青海高寒地区露地种植的适应性评价,旨在为该地区大白菜优良品种的选择与推广提供参考。采集供试材料的 10 个数量性状和 9 个营养指标数据,进行相关性、主成分、隶属函数分析。结果表明,供试材料农艺性状表现出较大的变异幅度和多样性。相关性分析结果显示,相关性极显著的性状有 9 对,主成分分析中,前 9 个主成分方差累计贡献率达到 89.46%,隶属函数值分布在 0.32~0.53。综合主成分评价和隶属函数分析,发现天青 75 在球高、球径、毛球质量和单球质量等农艺性状表现突出,叶柄中亚硝酸盐含量较低;胶研 5869 的株幅、单球质量表现较好,叶柄中总糖含量较高,叶片中可溶性糖含量较高;改良青杂 3 号综合品质优良、无明显劣势;秋喜含水量较高。综上,本研究筛选出了天青 75、胶研 5869、改良青杂 3 号和秋喜 4 个品种,可为青海地区针对不同需求进行大白菜品种选择提供参考。

关键词:大白菜;青海高寒地区;适应性筛选;主成分分析;隶属函数分析

中图分类号:S634.1

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)10-104-13

Screening and evaluation of the adaptability of Chinese cabbage in the alpine region of Huangnan, Qinghai

FAN Luze¹, BIAN Shuanling¹, OUYANG Tianyu¹, ZHAO Qingsheng¹, MA Jie², WANG Lili³, REN Yan-jing^{1,4,5}

(1. Laboratory of Germplasm Resources Research and Utilization on the Qinghai-Tibet Plateau/Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China; 2. Huangnan Prefecture Agricultural and Rural Comprehensive Service Center, Huangnan 811300, Qinghai, China; 3. Jianzha County Agricultural and Rural Comprehensive Service Center, Jianzha 811200, Qinghai, China; 4. Qinghai-Tibet Laboratory of Germplasm Resources Protection and Genetic Improvement, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xining 810016, Qinghai, China; 5. Key Laboratory of Vegetable Genetics and Physiology of Qinghai Province, Xining 810016, Qinghai, China)

Abstract: Through an adaptability evaluation of 20 Chinese cabbage varieties grown in the open field in the alpine region of Qinghai, this study aims to provide references for the selection and promotion of superior Chinese cabbage varieties in this area. Data on 10 quantitative traits and 9 nutritional indicators of the tested materials were collected and subjected to correlation, principal component, and membership function analyses. The results showed that the agronomic traits of the tested materials exhibited a wide range of variation and diversity. Correlation analysis revealed 9 pairs of traits with extremely significant correlations. In the principal component analysis, the cumulative contribution rate of the first 9 principal components reached 89.46%, and the membership function values ranged from 0.32 to 0.53. Based on comprehensive principal component evaluation and membership function analysis, Tianqing 75 was found to excel in agronomic traits such as head height, head diameter, untrimmed head mass, and single head mass, while also exhibiting low nitrite content in the leaf midribs. Jiaoyan 5869 performed well in plant spread and single head mass, with high total sugar content in the leaf midribs and high soluble sugar content in the leaves. Gailiang Qingza 3 demonstrated overall excellent quality with no significant weaknesses. Qiuxi showed high water content. In general, the four varieties (Tianqing 75, Jiaoyan 5869, Gailiang Qingza 3, and Qiuxi) have good performance in this study, which can provide a reference for the selection of Chinese cabbage varieties according to different needs in Qinghai region.

Key words: Chinese cabbage; High-cold region of Qinghai; Adaptability screening; Principal component analysis; Membership function analysis

收稿日期:2025-03-05;修回日期:2025-04-16

基金项目:国家重点研发项目(2022YFD1602400);青藏高原种质资源研究与利用实验室(2025 年);青海大学科研训练项目(NKX202401)

作者简介:樊露泽,女,在读本科生,研究方向为蔬菜生理。E-mail:1299265062@qq.com

通信作者:任延靖,副研究员,主要从事蔬菜遗传育种与分子生物学研究。E-mail:renyan0202@163.com

蔬菜产业是我国农业的重要组成部分,近年来,其生产面积和产量均占全球的一半左右。在“十三五”期间,我国蔬菜产业取得了显著进展,年播种面积达2000万 hm^2 ,总产量约8亿t,总产值突破2万亿元^[1]。蔬菜产业不仅是农民增收和农村经济发展的重要支柱,还在城乡就业和粮食安全保障中发挥关键作用^[1-2]。大白菜[*Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* (Lour.) Olsson]起源于中国,是我国第二大蔬菜作物,年种植面积180万 hm^2 左右,在均衡市场供应、稳定蔬菜价格等方面具有重要作用^[3]。大白菜富含维生素、矿物质和纤维素,具有栽培简单、耐贮存和运输等特点,因此我国的蔬菜生产和消费中占据着重要地位^[4]。

近年来,对大白菜性状的研究已有不少报道。范伟强等^[5]对天津地区的33个大白菜品种进行了调查,分析了其表型多样性。韩睿等^[6]对47份大白菜在青海西宁地区的适应性及多样性进行了分析,为该地区大白菜优良品种种植与推广提供了理论依据。王军等^[7]对17份来源不同的二倍体及其同源四倍体不结球白菜的营养品质进行测定和分析,为不结球白菜的多倍体育种提供科学依据。金同铭等^[8]就北京地区不同品种大白菜的营养成分、贮藏特性、食用品质等进行了系统评价。孙丽等^[9]对5个直筒型大白菜品种的主要营养成分进行测定,为大白菜的品质鉴定与筛选提供了科学的理论依据。

然而,目前有关青海高寒地区大白菜品种评价的研究较少,且鲜有农艺性状与营养指标的综合研究报告。为丰富青海地区大白菜品种的多样性,提高经济效益,本研究对青海黄南高寒地区种植的20个大白菜品种进行研究,通过相关性、主成分、隶属函数与系统聚类等分析方法,对大白菜株高、株幅等10个主要农艺性状及大白菜叶片与叶柄中总糖、可溶性糖含量等9项营养指标进行分析,对大白菜不同品种间农艺性状、质量性状和营养品质的差异进行分析,以为青海地区的大白菜品种选择与推广提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于青海省黄南藏族自治州同仁市保安镇,海拔为2324.6m,地处黄河南岸的隆务河谷地带,属于高原大陆性气候,土壤有机质含量(w ,后同)27.2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,pH 8.16,全氮含量1.66 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全磷含量2.55 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全钾含量20.03 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮含

量166 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量72.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量338 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验材料

试验选用来自全国各地20个不同品种的大白菜,大白菜品种来源见表1,品种形态特征见图1,采用育苗移栽的方法,于2024年6月18日移栽,并于2024年9月25日进行农艺性状调查。

1.3 试验设计

采用单因素随机区组设计,采用平畦种植,株行距为45 $\text{cm}\times 50\text{cm}$,每小区面积为9 m^2 ,长9m,宽1m,种植大白菜36株,每个品种3次重复。

1.4 农艺性状调查

于2024年9月,参照李锡香等^[10]的方法对大白菜的株高、株幅、球高、球宽、单球毛质量、单球净质量、外叶数、球叶数、短缩茎高度和中肋厚10个农艺性状进行测定,3次重复。

1.5 质量性状调查

参照GB/T 19557.5—2017^[11]调查大白菜紧实度、外叶色、心叶色、叶球形状和叶球上部绿色程度,3次重复。

1.6 叶片、叶柄营养品质指标测定

共检测营养品质指标9项,每个样品设3次重复,包括总糖、可溶性糖、可溶性蛋白质、亚硝酸盐、维生素C、类胡萝卜素、硫代葡萄糖苷、粗纤维含量和含水量。

采用试剂盒(北京索莱宝科技有限公司)测定大白菜叶片与叶柄的总糖(BC 2715)、可溶性糖(BC 0035)、可溶性蛋白(BC 3185)、维生素C(BC 0225)、类胡萝卜素(BC 4335)、亚硝酸盐含量(BC 1495);采用试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司)测定硫代葡萄糖苷含量(SPT-1-W);参照GB/T 5009.10—2003^[12]测定粗纤维含量;采用烘箱干燥法^[13]测定含水量。

1.7 数据分析

采用Excel 2013处理数据并进行多样性指数分析^[14]与隶属函数分析^[15];采用SPSS 25.0进行主成分分析和相关性分析,以特征值大于1.00为标准提取主成分,得到原始数据相关矩阵的特征值、方差贡献率、累计方差贡献率等;采用UPGMA法进行聚类分析与制图。

2 结果与分析

2.1 不同品种大白菜的农艺性状分析

对20个大白菜品种的10个农艺性状进行统

表 1 供试大白菜品种来源
Table 1 Sources of the 20 Chinese cabbage varieties tested

编号 No.	种质资源 Germplasm resource	来源 Source
B1	翠青 8 号 Cuiqing No. 8	天津市耕耘种业股份有限公司 Tianjin Gengyun Seed Industry Co., Ltd.
B2	大将军 Dajiangjun	哈尔滨金龙农业有限公司 Harbin Jinlong Agriculture Co., Ltd.
B3	改良青杂 3 号 Gailiang Qingza No. 3	青岛胶研种苗有限公司 Qingdao Jiaoyan Seedling Co., Ltd.
B4	华耐 B1102 Huanai B1102	北京华耐农业发展有限公司 Beijing Huanai Agricultural Development Co., Ltd.
B5	胶蔬秋季王 Jiaoshu Autumn King	胶州市东茂蔬菜研究所 Jiaozhou Dongmao Vegetable Research Institute
B6	胶研 5869 Jiaoyan 5869	青岛胶研种苗有限公司 Qingdao Jiaoyan Seedling Co., Ltd.
B7	胶研七号 Jiaoyan No. 7	青岛胶研种苗有限公司 Qingdao Jiaoyan Seedling Co., Ltd.
B8	胶研三号 Jiaoyan No. 3	青岛胶研种苗有限公司 Qingdao Jiaoyan Seedling Co., Ltd.
B9	颗颗十八斤 Keke Shibajin	石家庄先风种业有限公司 Shijiazhuang Xianfeng Seed Industry Co., Ltd.
B10	萌黄 2 号 Menghuang No. 2	北京华耐农业发展有限公司 Beijing Huanai Agricultural Development Co., Ltd.
B11	瓣帮白菜 Pibang Chinese cabbage	北京思贝齐种子有限公司 Beijing Sibeiqi Seed Co., Ltd.
B12	秋喜 Qiuxi	青岛胶研种苗有限公司 Qingdao Jiaoyan Seedling Co., Ltd.
B13	大青麻叶 Daqingmaye	山东省青州市云寿种业有限公司 Qingzhou Yunshou Seed Industry Co., Ltd., Shandong Province
B14	天青 55 Tianqing 55	天津市耕耘种业股份有限公司 Tianjin Gengyun Seed Industry Co., Ltd.
B15	天青 75 Tianqing 75	天津市耕耘种业股份有限公司 Tianjin Gengyun Seed Industry Co., Ltd.
B16	津双 60 Jinshuang 60	天津市耕耘种业股份有限公司 Tianjin Gengyun Seed Industry Co., Ltd.
B17	新北京 3 号 New Beijing No. 3	济南申萌种子有限公司 Jinan Shenmeng Seed Co., Ltd.
B18	新美 034 Xinmei 034	北京新民科技有限公司 Beijing Xinmin Technology Co., Ltd.
B19	新美 159 Xinmei 159	北京新民科技有限公司 Beijing Xinmin Technology Co., Ltd.
B20	紫裔 Ziyi	从韩国进口种子 Imported seeds from Republic of Korea



图 1 供试大白菜品种图片
Fig. 1 Images of the 20 Chinese cabbage varieties tested

计分析,结果如表2所示,有3个农艺性状的变异系数大于0.30,从大到小依次为短缩茎高度、单球毛质量、单球净质量,而球宽、中肋厚、株高的变异系数较小。多样性指数分析结果表明,有7个性状(球叶数、株幅、球宽、单球净质量、短缩茎高度、单球毛质量和株高)的多样性指数均大于或等于平均值(1.28),说明这7个性状具有较丰富的多样性。相关性分析结果如表3所示,球宽与单球净质量、中肋厚与单球净质量、外叶数与单球毛质量、球叶数与外叶数、单球毛质量与株高、外叶数与单球净质量、短缩茎高度与球高7对性状间均呈显著正相关,单球毛质量与球宽、单球净质量与单球毛质量均呈极显著正相关。球叶数与株高呈显著负相关。

2.2 不同品种大白菜的质量性状分析

对20个大白菜品种的5个质量性状进行分析,结果如表4所示,多样性指数均在0.64~1.02之间,其中外叶色、叶球形状和叶球上部绿色程度多样性较高,外叶色为绿、紫、深绿的品种分别占总品种数的60%、5%、35%,叶球形状为头球形、筒形、长筒形和炮弹形的品种分别占总品种数的20%、30%、30%和20%,叶片为紫色的紫裔除外,叶球上部绿色程度为浅、中、深的品种分别占总品种数的50%、20%和25%。

2.3 不同品种大白菜的营养品质分析

2.3.1 大白菜叶片中的营养品质分析 对20个大白菜品种叶片中各营养品质指标进行检测,结果如表5所示,叶片总糖含量为8.26~34.88 mg·g⁻¹,含量最高的品种为B5(胶蔬秋季王);可溶性糖含量为2.30~19.45 mg·g⁻¹,含量最高的品种为B9(颗颗十八斤);可溶性蛋白质含量为0.93~6.02 mg·g⁻¹,含量最高的品种为B20(紫裔);亚硝酸盐含量(*b*,后同)为2.97~35.61 nmol·g⁻¹,含量最低的品种为B5(胶蔬秋季王)和B6(胶研5869);维生素C含量为1.07~7.73 μmol·g⁻¹,含量最高品种的为B5(胶蔬秋季王);硫代葡萄糖苷含量为0.15~7.52 μmol·g⁻¹,含量最低的品种为B7(胶研七号);类胡萝卜素含量为1.31~10.02 μg·g⁻¹,含量最高的品种为B19(新美159);粗纤维含量为9.49%~18.34%,含量最低的品种为B20(紫裔);含水量为92.36%~95.01%,含水量最高的品种为B4(华耐B1102)。

2.3.2 大白菜叶柄中的营养品质分析 对20个大白菜品种叶柄中各营养品质指标进行测定,结果如表6所示,20个大白菜品种叶柄中总糖含量为2.39~14.17 mg·g⁻¹,含量最高的品种为B5(胶蔬秋季

王);可溶性糖含量为1.90~21.61 mg·g⁻¹,含量最高的品种为B13(大青麻叶);可溶性蛋白质含量为5.09~33.02 mg·g⁻¹,含量最高的品种为B8(胶研三号);亚硝酸盐含量为0.27~0.41 μmol·g⁻¹,含量最低的品种为B16(津双60);维生素C含量为1.47~10.53 μmol·g⁻¹,含量最高的品种为B13(大青麻叶);硫代葡萄糖苷含量为0.11~1.87 μmol·g⁻¹,含量最低的品种为B13(大青麻叶);类胡萝卜素含量为0.31~4.91 μg·g⁻¹,含量最高的品种为B19(新美159);粗纤维的含量为10.80%~19.18%,含量最低的品种为B12(秋喜);含水量为94.93%~96.59%,含水量最高的品种为B4(华耐B1102)。

2.4 营养品质指标间的相关性分析

在20个大白菜品种的9个营养品质指标中,部分品种的类胡萝卜素含量未检出,无法进行相关性分析,最终对20个大白菜品种2个组织间的8个营养品质指标进行相关性分析,结果如表7所示,叶片总糖含量与可溶性蛋白含量、叶片总糖含量与亚硝酸盐含量、叶片可溶性蛋白含量与粗纤维含量、叶片可溶性蛋白含量与维生素C含量、叶片可溶性蛋白含量与叶柄维生素C含量、叶片亚硝酸盐含量与粗纤维含量、叶片亚硝酸盐含量与叶柄维生素C含量、叶柄亚硝酸盐含量与粗纤维含量均呈显著负相关;叶片的含水量与叶柄的亚硝酸盐含量呈极显著负相关;叶片总糖含量与叶柄可溶性糖含量呈显著正相关;叶片总糖含量与维生素C含量、叶片可溶性糖含量与硫代葡萄糖苷含量、叶片可溶性蛋白含量与亚硝酸盐含量、叶片含水量与叶柄粗纤维含量、叶片粗纤维含量与叶柄维生素C含量、叶片维生素C含量与叶柄可溶性糖含量均呈极显著正相关。

2.5 主成分分析及评价

对20个大白菜品种2个组织间的8个营养品质指标及10个农艺性状进行主成分分析。以特征值大于1.00为标准提取主成分,结果如表8所示,在26个指标中,前9个主成分累计贡献率达89.46%,基本能够反映26个指标的大部分信息。

第1主成分的特征值为4.32,方差贡献率为16.63%,特征向量绝对值较高的性状主要有叶片含水量(0.93)、单球净质量(0.86)、单球毛质量(0.80)、叶柄可溶性蛋白含量(-0.72)、叶柄含水量(0.70),说明产量较高的品种含水量较高而可溶性蛋白较低;第2主成分的特征值为3.58,方差贡献率为13.77%,特征向量绝对值较高的性状主要有叶片可

表 2 不同品种大白菜农艺性状统计分析

Table 2 Statistical analysis of agronomic traits for 20 Chinese cabbage varieties

编号 No.	株高 Plant height/cm	株幅 Plant spread/m ²	球高 Head height/cm	球宽 Head width/cm	单球毛质量 Gross mass per head/kg	单球净质量 Net mass per head/kg	外叶数 Outer leaf count	球叶数 Inner leaf count	短缩茎高度 Core height/cm	中肋厚 Midrib thickness/cm
B1	42.44±1.22 b	0.17±0.03 bcd	27.75±2.94 def	17.43±0.08 bc	1.91±0.24 de	1.27±0.17 cd	9.67±0.47 efg	28.33±0.47 hi	4.15±0.90 bc	0.57±0.06 abcde
B2	30.06±0.53 e	0.13±0.02 defgh	31.52±1.57 d	14.80±1.17 bcde	1.38±0.30 fghi	1.01±0.29 de	11.33±0.47 cde	35.00±0.82 fg	4.43±2.65 bc	0.51±0.08 bcdefg
B3	29.44±1.06 efg	0.18±0.00 abcd	29.15±1.55 de	18.04±0.97 b	2.24±0.14 cd	2.06±0.20 a	11.67±0.94 cde	52.00±1.63 bc	4.02±0.92 bcd	0.69±0.10 a
B4	27.26±0.55 fg	0.08±0.01 h	26.95±2.22 efg	16.31±1.34 bcde	1.77±0.04 def	1.48±0.07 bc	9.67±0.47 efg	43.00±0.82 e	1.76±0.24 cd	0.50±0.02 bcdefg
B5	29.08±0.52 efg	0.20±0.01 ab	38.13±0.64 c	16.64±2.41 bcd	1.63±0.12 efg	1.26±0.10 cd	9.33±0.47 efg	38.00±1.63 f	1.77±0.36 cd	0.48±0.02 efg
B6	33.98±3.15 d	0.24±0.07 a	20.74±3.74 h	14.94±0.99 bcde	2.92±0.40 b	2.28±0.28 a	9.67±2.49 efg	45.67±2.05 de	1.77±0.46 cd	0.61±0.05 abcd
B7	29.27±1.06 efg	0.15±0.01 cdef	46.74±1.83 ab	13.55±0.29 def	1.39±0.09 fghi	1.00±0.10 de	12.67±0.47 cd	57.33±6.18 a	2.26±0.35 cd	0.57±0.01 abcde
B8	29.40±2.37 efg	0.18±0.03 bcd	43.87±1.09 b	13.88±0.58 def	0.96±0.17 jk	0.75±0.11 ef	9.33±0.94 efg	28.33±0.47 hi	8.12±4.83 a	0.51±0.10 bcdefg
B9	26.89±1.29 g	0.19±0.04 abcd	25.98±0.39 efg	15.32±0.59 bcde	1.87±0.11 def	1.40±0.17 bc	15.67±1.25 ab	57.33±2.05 a	2.17±0.81 cd	0.52±0.05 bcdefg
B10	23.56±0.34 h	0.24±0.02 a	20.70±0.10 h	12.68±0.18 ef	1.25±0.02 ghij	0.97±0.06 de	8.33±0.47 fg	60.33±5.56 a	1.30±0.07 cd	0.44±0.01 efg
B11	28.77±0.90 efg	0.17±0.01 bcde	26.08±0.49 efg	14.62±1.01 cde	1.07±0.03 jk	0.85±0.05 ef	9.33±0.47 efg	34.00±0.00 fg	2.36±0.05 bcd	0.40±0.01 fg
B12	29.63±0.93 efg	0.15±0.00 bcdef	28.55±0.08 def	16.45±1.22 bcd	2.64±0.16 bc	2.27±0.10 a	16.67±0.47 a	56.00±0.00 ab	4.58±0.85 bc	0.54±0.08 bcde
B13	29.46±0.43 efg	0.15±0.03 bcdef	24.34±0.36 fgh	10.88±0.21 f	1.58±0.34 efgh	1.63±0.04 b	11.67±2.05 cde	35.67±1.25 fg	2.63±0.48 bcd	0.69±0.04 a
B14	36.60±0.57 c	0.09±0.01 gh	25.75±0.15 efg	12.47±0.21 ef	0.86±0.06 jk	0.61±0.02 f	8.67±0.47 fg	31.00±0.82 ghi	1.64±0.78 cd	0.50±0.04 cdefg
B15	41.97±0.31 b	0.20±0.02 abc	49.21±4.99 a	21.75±4.70 a	3.60±0.41 a	2.38±0.35 a	11.33±1.25 cde	29.00±0.82 hi	5.52±0.93 ab	0.50±0.00 bcdefg
B16	44.94±0.45 a	0.11±0.02 efgh	23.45±0.16 gh	14.13±0.34 de	1.98±0.42 de	1.58±0.16 bc	10.67±0.47 def	32.00±0.00 gh	2.38±0.97 bcd	0.63±0.09 ab
B17	27.08±0.22 fg	0.14±0.01 defg	25.78±0.17 efg	15.42±0.22 bcde	1.11±0.11 hijk	0.99±0.14 de	8.00±0.00 g	51.00±0.82 c	1.62±0.21 cd	0.53±0.05 bcdef
B18	29.79±0.56 ef	0.17±0.01 bcd	24.61±0.37 fgh	14.99±0.53 bcde	1.70±0.10 efg	1.39±0.05 bc	13.67±2.05 bc	48.33±0.47 cd	2.93±0.06 bcd	0.62±0.02 abc
B19	30.77±1.59 e	0.11±0.01 fgh	31.55±0.42 d	15.44±0.26 bcde	1.97±0.16 de	1.39±0.03 bc	12.33±0.94 cd	46.33±1.25 de	0.80±0.08 d	0.39±0.03 g
B20	23.75±0.66 h	0.13±0.01 defgh	28.00±1.49 def	17.58±0.45 bc	0.63±0.02 k	0.63±0.05 f	8.00±0.00 g	27.00±0.82 i	1.73±0.05 cd	0.48±0.02 defg
最小值 Min	44.94	0.24	49.21	21.75	3.60	2.38	16.67	60.33	8.12	0.69
最大值 Max	23.56	0.08	20.70	10.88	0.63	0.61	8.00	27.00	0.80	0.39
平均值 Mean	31.21	0.16	29.94	15.37	1.72	1.36	10.88	41.78	2.90	0.53
标准差 SD	5.76	0.04	7.99	2.29	0.71	0.53	2.35	10.98	1.72	0.08
变异系数 CV	0.18	0.27	0.27	0.15	0.41	0.39	0.22	0.26	0.59	0.15
多样性指数 Diversity index	1.28	1.47	1.11	1.29	1.28	1.28	1.16	1.47	1.28	1.15

注:不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 3 大白菜的农艺性状相关性分析
Table 3 Correlation analysis of agronomic traits in Chinese cabbage

性状 Trait	相关系数 Correlation coefficient									
	株高 Plant height	株幅 Plant spread	球高 Head height	球宽 Head width	单球毛质量 Gross mass per head	单球净质量 Net mass per head	外叶数 Outer leaf count	球叶数 Inner leaf count	短缩茎 高度 Core height	中肋厚 Midrib thickness
	height	spread	height	width	per head	per head	leaf count	leaf count	Core height	thickness
株高 Plant height	1									
株幅 Plant spread	-0.102	1								
球高 Head height	0.141	0.062	1							
球宽 Head width	0.252	0.141	0.397	1						
单球毛质量 Gross mass per head	0.490*	0.339	0.173	0.562**	1					
单球净质量 Net mass per head	0.348	0.304	0.021	0.453*	0.948**	1				
外叶数 Outer leaf count	-0.002	0.010	0.095	0.078	0.458*	0.501*	1			
球叶数 Inner leaf count	-0.494*	0.269	-0.199	-0.169	0.141	0.229	0.478*	1		
短缩茎高度 Core height	0.250	0.184	0.537*	0.280	0.214	0.176	0.178	-0.337	1	
中肋厚 Midrib thickness	0.272	0.073	-0.166	-0.107	0.281	0.453*	0.256	0.076	0.189	1

注:*表示在 0.05 水平($P<0.05$)显著相关,**表示在 0.01 水平($P<0.01$)极显著相关。下同。
Note: * indicate significant correlations at 0.05 level($P<0.05$), and ** indicate extremely significant correlations at 0.01 level($P<0.01$). The same below.

表 4 大白菜的质量性状分级赋值及统计分析
Table 4 Grading assignment and statistical analysis of qualitative traits in Chinese cabbage

质量性状 Qualitative trait	分级与赋值 Classification and assignment	品种数 Number of varieties					多样性指数 Diversity index
		1	2	3	4	5	
紧实度 Compactness	1: 松;2: 中;3: 紧 1: Loose; 2: Medium; 3: Tight	8	0	12			0.67
外叶色 Outer leaf color	1: 绿;2: 紫;3: 深绿 1: Green; 2: Purple; 3: Dark green	12	1	7			0.82
心叶色 Inner leaf color	1: 白;2: 浅紫;3: 浅黄;4: 浅绿 1: White; 2: Light purple; 3: Light yellow; 4: Light green	1	1	16	2		0.64
叶球形状 Leaf head shape	1: 球形;2: 头球形;3: 筒形;4: 长筒形;5: 炮弹形 1: Spherical; 2: Top spherical; 3: Cylindrical; 4: Long cylindrical; 5: Shell-shaped	0	4	6	6	4	0.95
叶球上部绿色程度 Greenness degree of the upper part of the leaf head	1: 浅;2: 中;3: 深 1: Light; 2: Medium; 3: Dark	10	4	5			1.02

溶性蛋白含量(-0.87)、叶片总糖含量(0.80)、叶片亚硝酸盐含量(0.78)等,第 2 主成分主要反映大白菜的营养品质信息;第 3 主成分的特征值为 2.85,方差贡献率为 10.94%,特征向量绝对值较高的性状主要有短缩茎高度(0.85)、球高(0.80)、叶片粗纤维含量(-0.52)。其他主成分方差贡献率小于 10%。
如表 9 所示,通过对 20 个大白菜品种的性状综合评价,不同大白菜品种的主成分得分排名依次为 B15 > B6 > B13 > B3 > B12 > B9 > B8 > B18 > B5 > B16 > B1 > B7 > B19 > B4 > B10 > B11 > B2 > B14 > B17 > B20。说明 B15、B6、B13、B3、

B12、B9、B8、B18、B5 的综合农艺性状和营养品质,在当地均表现出良好的适应性,适合推广种植。
2.6 营养品质的隶属函数分析
对 20 个大白菜品种进行隶属函数分析结果如表 10 所示,隶属函数值分布在 0.32~0.53 之间,平均值为 0.43,大于或等于平均值的品种有 11 个,依次为 B12(秋喜)、B15(天青 75)、B13(大青麻叶)、B3(改良青杂 3 号)、B19(新美 159)、B7(胶研七号)、B5(胶蔬秋季王)、B6(胶研 5869)、B2(大将军)、B18(新美 034)、B10(萌黄 2 号),说明这 11 个品种具有较为优良的营养品质。综合性状评价和

表5 大白菜叶片中的营养品质指标分析

Table 5 Nutritional quality analysis of Chinese cabbage leaves

编号 No.	w(总糖) Total sugar content/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性蛋白质) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	b(亚硝酸盐) Nitrite content/ (mmol·g ⁻¹)	b(维生素C) Vitamin C content/ (μmol·g ⁻¹)	b(硫代葡萄糖苷) Glucosinolate content/(μmol·g ⁻¹)	w(类胡萝卜素) Carotenoid content/(μg·g ⁻¹)	w(粗纤维) Crude fiber content/%	含水量 Moisture content/%
B1	17.67±0.87 f	15.88±1.47 b	4.63±1.00 abcd	12.46±1.45 efg	1.87±0.94 c	7.52±0.47 a	5.54±0.55 bcd	11.81±0.46 de	93.81
B2	12.00±1.10 ij	5.79±1.19 hij	5.25±0.79 ab	20.18±3.03 bc	1.07±0.68 c	2.96±0.80 cde	9.37±0.96 a	12.28±0.09 cd	93.73
B3	26.33±1.50 bc	10.80±1.69 cd	1.39±0.38 hi	7.72±1.68 hij	3.73±1.86 abc	1.12±0.60 fghi	6.81±1.65 b	12.84±0.29 c	94.45
B4	14.78±0.42 gh	2.63±0.97 k	1.70±0.58 fghi	15.43±2.22 de	4.93±2.12 abc	0.46±0.32 i	3.70±1.13 defg	14.46±0.38 b	95.01
B5	34.88±2.12 a	7.62±0.79 efgh	2.47±0.22 efghi	2.97±0.84 k	7.73±4.41 a	0.55±0.53 i	2.55±1.58 efg	12.41±0.30 cd	93.10
B6	22.88±0.98 de	13.96±1.25 b	1.54±0.58 ghi	2.97±0.84 k	5.73±1.91 abc	2.95±0.42 cde	2.66±1.38 efg	18.34±0.40 a	94.69
B7	17.22±0.27 fg	2.30±0.28 k	4.78±0.79 abcd	14.84±2.22 def	2.00±0.86 c	0.15±0.08 i	2.61±0.61 efg	11.76±0.25 de	94.02
B8	24.44±0.16 cd	6.40±0.84 fghi	0.93±0.65 i	4.15±2.22 jk	4.00±1.18 abc	4.70±0.78 b	1.57±0.72 g	17.75±0.36 a	92.89
B9	21.44±0.87 e	19.45±1.21 a	1.08±0.22 i	8.31±1.68 ghij	1.60±0.86 c	3.93±1.65 bc	1.71±0.24 fg	12.11±0.42 de	94.06
B10	14.29±0.55 hi	6.01±0.26 ghij	3.70±0.76 bcde	8.31±0.84 ghij	5.07±0.82 abc	0.78±0.24 hi	4.31±1.06 cde	9.53±0.22 g	93.65
B11	27.55±1.19 bc	3.14±0.43 k	2.16±0.22 efghi	11.87±1.68 efgh	5.47±1.47 abc	1.96±0.33 efgh	4.11±0.55 def	10.62±0.22 f	93.70
B12	16.89±0.82 fgh	3.98±0.48 ijk	1.70±0.58 fghi	10.09±2.22 ghi	4.40±2.47 abc	1.05±0.82 ghi	6.52±0.19 bc	10.02±0.38 fg	94.95
B13	26.24±2.52 bc	15.15±1.21 b	3.24±0.00 def	17.21±2.22 cd	6.95±1.87 ab	2.41±0.79 def	-	12.09±0.20 de	94.33
B14	18.55±2.37 f	11.09±1.29 cd	3.55±0.79 cde	10.68±2.91 fghi	2.80±0.98 bc	0.76±0.48 hi	1.57±0.26 g	10.56±0.05 f	93.13
B15	10.85±0.28 j	9.15±1.44 cde	2.78±0.76 efgh	7.12±1.45 ijk	2.27±1.86 bc	2.20±0.12 defg	1.77±0.56 fg	14.46±0.39 b	94.46
B16	17.89±0.72 f	8.70±0.71 cdef	1.85±0.00 fghi	8.31±1.68 ghij	4.13±1.51 abc	0.49±0.46 i	1.31±0.35 g	12.00±0.41 de	94.05
B17	8.26±1.56 k	4.75±0.63 ijk	4.94±1.09 abc	33.83±2.91 a	4.80±4.57 abc	0.51±0.28 i	6.67±0.64 b	11.81±0.23 de	94.59
B18	11.36±1.13 j	8.40±1.91 defg	5.09±1.00 abc	21.96±1.68 b	1.60±1.13 c	0.23±0.12 i	-	9.56±0.38 g	93.55
B19	16.89±1.44 fgh	3.67±0.69 jk	3.09±0.58 efg	6.53±0.84 ijk	2.53±2.00 bc	0.74±0.36 hi	10.02±2.52 a	11.52±0.13 e	94.03
B20	14.46±0.79 ghi	8.91±1.45 cde	6.02±1.13 a	35.61±2.91 a	1.47±0.50 c	3.39±0.15 cd	1.83±0.17 fg	9.49±0.30 g	92.36
最小值 Min	8.26	2.30	0.93	2.97	1.07	0.15	1.31	9.49	92.36
最大值 Max	34.88	19.45	6.02	35.61	7.73	7.52	10.02	18.34	95.01
平均值 Mean	18.74	8.39	3.09	13.03	3.71	1.94	4.15	12.27	93.93
标准差 SD	6.50	4.68	1.54	8.86	1.88	1.83	2.67	2.36	0.67
变异系数 CV	0.35	0.56	0.50	0.68	0.51	0.94	0.64	0.19	0.72
多样性指数 Diversity index	1.43	1.39	1.52	1.17	1.44	1.50	1.22	1.17	1.46

注:含水量数据无重复,故无显著性分析。-为未检测到含量。下同。

Note: Moisture content data has no duplicates, so no significance analysis was conducted. - indicates undetected content. The same below.

表 6 大白菜叶帮中的营养品质分析

Table 6 Nutritional quality analysis of Chinese cabbage leaf stems

编号 NO.	w(总糖) Total sugar content/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/(mg·g ⁻¹)	w(可溶性蛋白质) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	b(亚硝酸盐) Nitrite content/ (μmol·g ⁻¹)	b(维生素C) Vitamin C content/(μmol·g ⁻¹)	b(硫代葡萄糖苷) Glucosinolate content/(μmol·g ⁻¹)	w(类胡萝卜素) Carotenoid content/(μg·g ⁻¹)	w(粗纤维) Crude fiber content/%	含水量 Moisture content/%
B1	5.96±1.12 e	4.93±0.75 fgh	6.02±0.38 ghi	0.35±0.02 ab	2.13±1.89 bc	0.34±0.15 bc	1.57±0.02 cd	13.95±0.27 fg	95.48
B2	6.05±0.32 e	5.59±0.80 efg	23.61±2.00 b	0.34±0.06 ab	2.53±1.47 bc	0.58±0.38 bc	2.05±0.62 cd	12.37±0.09 hi	95.09
B3	10.94±0.98 b	5.20±0.44 fg	8.80±1.00 efg	0.34±0.03 ab	3.20±0.65 bc	1.26±0.61 ab	-	14.38±0.54 ef	95.61
B4	6.26±0.85 e	3.28±0.70 ghi	6.79±0.95 fghi	0.30±0.05 b	5.73±3.14 bc	0.38±0.30 bc	-	15.52±0.37 d	96.59
B5	14.17±0.63 a	4.67±0.71 fghi	13.89±1.36 d	0.41±0.04 a	5.60±1.73 bc	0.47±0.31 bc	-	14.45±0.40 ef	94.94
B6	13.83±0.87 a	12.52±0.68 c	6.17±0.87 fghi	0.36±0.07 ab	1.47±0.94 c	0.53±0.37 bc	-	19.18±0.37 a	95.76
B7	2.39±0.61 f	16.74±1.55 b	6.33±1.15 fghi	0.29±0.02 b	2.80±0.57 bc	0.55±0.27 bc	4.57±1.78 ab	13.47±0.39 g	95.20
B8	6.86±0.99 e	2.14±0.61 hi	33.02±3.06 a	0.30±0.01 b	4.27±2.95 bc	0.62±0.35 bc	1.82±0.18 cd	18.21±0.37 b	94.97
B9	7.71±0.43 e	1.90±0.49 i	9.10±1.53 ef	0.41±0.07 a	1.47±0.82 c	1.87±0.60 a	1.30±0.37 d	13.99±0.19 fg	95.82
B10	11.40±0.47 b	13.15±3.50 c	8.18±0.79 fgh	0.35±0.01 ab	5.20±2.85 bc	0.23±0.21 c	0.49±0.12 d	11.65±0.28 i	94.93
B11	11.28±1.57 b	3.93±0.50 ghi	16.51±1.53 c	0.33±0.08 ab	4.40±0.65 bc	0.66±0.51 bc	2.01±1.30 cd	13.66±0.30 fg	95.32
B12	7.07±0.33 e	2.10±0.28 i	5.09±0.76 i	0.34±0.05 ab	6.67±2.32 ab	0.52±0.54 bc	0.96±0.39 d	10.80±0.31 j	95.77
B13	12.13±0.62 ab	21.61±2.38 a	8.80±0.00 efg	0.29±0.01 b	10.53±1.47 a	0.11±0.06 c	1.28±0.45 d	16.39±0.65 c	96.06
B14	7.41±1.25 e	7.32±0.90 def	11.27±0.22 de	0.35±0.01 ab	3.07±1.97 bc	0.39±0.24 bc	1.57±0.44 cd	16.67±0.40 c	95.13
B15	7.96±1.11 de	9.56±1.06 d	5.56±0.76 hi	0.28±0.01 b	6.93±2.74 ab	0.56±0.48 bc	0.31±0.12 d	17.67±0.69 b	95.37
B16	7.15±0.58 e	3.93±0.58 ghi	7.10±0.58 fghi	0.27±0.01 b	2.67±0.82 bc	0.30±0.33 bc	0.64±0.36 d	16.70±0.30 c	96.18
B17	6.22±1.04 e	2.32±0.43 hi	7.56±0.79 fghi	0.34±0.02 ab	3.47±1.05 bc	0.37±0.51 bc	1.37±0.28 cd	12.12±0.34 hi	96.30
B18	10.09±1.83 bcd	7.93±1.24 de	7.25±1.15 fghi	0.32±0.02 ab	6.27±4.03 abc	1.30±0.67 ab	3.17±0.93 bc	12.67±0.38 h	95.12
B19	8.34±1.83 cde	5.20±0.87 fg	13.58±1.33 d	0.30±0.01 b	6.00±0.98 abc	0.86±0.56 bc	4.91±1.47 a	14.87±0.13 de	95.79
B20	10.30±1.31 bc	3.79±0.22 ghi	18.36±1.53 c	0.32±0.02 b	4.80±2.67 bc	0.31±0.21 bc	1.59±0.53 cd	11.68±0.37 i	94.94
最小值 Min	2.39	1.90	5.09	0.27	1.47	0.11	0.31	10.80	94.93
最大值 Max	14.17	21.61	33.02	0.41	10.53	1.87	4.91	19.18	96.59
平均值 Mean	8.67	6.89	11.15	0.33	4.46	0.61	1.85	14.52	95.52
标准差 SD	2.91	5.20	6.92	0.04	2.18	0.41	1.28	2.30	0.49
变异系数 CV	0.34	0.75	0.62	0.11	0.49	0.67	0.69	0.16	0.51
多样性指数 Diversity index	1.45	1.19	1.19	1.33	1.44	1.43	1.10	1.45	1.16

表7 20个大白菜品种的营养品质成分相关性分析

Table 7 Correlation analysis of nutritional quality components in 20 Chinese cabbage varieties																
NQC	A	B	C	D	E	F	G	H	a	b	c	d	e	f	g	h
A	1															
B	0.246	1														
C	-0.554*	-0.143	1													
D	-0.553*	-0.157	0.756**	1												
E	-0.184	-0.045	-0.368	-0.161	1											
F	0.251	0.154	-0.540*	-0.448*	0.242	1										
G	0.599**	-0.090	-0.445*	-0.297	0.224	0.236	1									
H	0.109	0.569**	0.009	-0.045	-0.239	0.296	-0.276	1								
a	-0.250	-0.323	0.248	0.166	0.322	-0.235	-0.140	-0.074	1							
b	0.554*	0.289	-0.223	-0.223	-0.150	0.058	0.592**	-0.065	-0.116	1						
c	0.071	0.163	0.217	-0.062	0.127	0.027	0.212	-0.141	-0.159	0.199	1					
d	0.226	-0.198	-0.007	0.023	-0.643**	0.235	-0.092	0.315	0.030	0.000	-0.304	1				
e	0.358	0.388	-0.107	-0.156	-0.150	-0.090	0.141	0.183	0.015	0.368	-0.273	-0.014	1			
f	-0.140	0.058	-0.337	0.074	0.777**	0.194	0.257	-0.170	0.176	-0.174	-0.085	-0.484*	-0.231	1		
g	0.330	0.322	-0.526*	-0.549*	0.093	0.785**	0.241	0.163	-0.463	0.158	0.217	0.087	-0.260	0.178	1	
h	0.046	-0.191	0.032	0.090	0.095	-0.203	0.369	-0.277	0.119	0.292	0.364	-0.069	-0.378	0.078	-0.039	1

注:NQC. 营养品质成分;A. 总糖含量-叶片;B. 可溶性糖含量-叶片;C. 可溶性蛋白含量-叶片;D. 亚硝酸盐含量-叶片;E. 含水量-叶片;F. 粗纤维含量-叶片;G. 维生素C含量-叶片;H. 硫代葡萄糖苷含量-叶片;a. 总糖含量-叶柄;b. 可溶性糖含量-叶柄;c. 可溶性蛋白含量-叶柄;d. 亚硝酸盐含量-叶柄;e. 含水量-叶柄;f. 粗纤维含量-叶柄;g. 维生素C含量-叶柄;h. 硫代葡萄糖苷含量-叶柄。

Note: NQC. Nutritional quality components; A. Total sugar content - leaf blade; B. Soluble sugar content - leaf blade; C. Soluble protein content - leaf blade; D. Nitrite content - leaf blade; E. Moisture content - leaf blade; F. Crude fiber content - leaf blade; G. Vitamin C content - leaf blade; H. Glucosinolate content- leaf blade; a. Total sugar content- leaf stem; b. Soluble sugar content - leaf stem; c. Soluble protein content - leaf stem; d. Nitrite content - leaf stem; e. Moisture content - leaf stem; f. Crude fiber content - leaf stem; g. Vitamin C content - leaf stem; h. Glucosinolate content- leaf stem.

营养品质的隶属函数分析,最终筛选出5个综合表现较好的品种,分别为B15(天青75)、B13(大青麻叶)、B6(胶研5869)、B3(改良青杂3号)、B12(秋喜)。

2.7 大白菜品种的聚类分析

对20个大白菜品种的数据标准化后进行系统聚类分析,在相似系数为15.5时,可将20个大白菜品种分成5大类(图2),对5个组群中26个指标进行比较分析,结果如表11所示,其中亚硝酸盐、粗纤维与硫代葡萄糖苷为负向指标,在表中均值越高表示含量越低。如图2所示,第I类共13个品种,该类叶片的可溶性蛋白含量在5个组群中最高,且叶片的粗纤维和硫代葡萄糖苷含量较低,说明该类组群的营养品质较好;第II类共3个品种,其中外叶数和球叶数在5个组群中均最高,叶柄的粗纤维含量最低,该类组群的叶片较多;第III类共2个品种,其中叶片和叶柄的总糖含量、可溶性糖含量、含水量在5个组群中均最高,叶柄的硫代葡萄糖苷含量最低,球高、球宽、短缩茎高度在5个组群中均最小,说明该类组群的大白菜植株虽较小,但营养品质丰富;第IV类有1个品种,其株高、球高、单球毛质量

等数量性状在5个组群中最好,但营养指标整体较差,说明该类组群植株高大、产量较高,但营养品质较低。第V类有1个品种,该品种叶柄的可溶性蛋白含量、短缩茎高度在5个组群中均较好,叶片的亚硝酸盐含量最低,其他营养指标表现较差,说明该类组群植株的整体品质较差。

3 讨论与结论

青海省位于三江源头,降水主要集中在6—9月,青海的地形复杂,农业生产区域的海拔为1650~3900 m^[16]。青海循化等地区为提高土地利用率,实施大白菜与其他蔬菜套作种植技术^[17]。为筛选出适宜青海地区种植的大白菜品种,笔者通过对20个大白菜品种在青海高寒地区的农艺性状和营养品质分析,采用相关性分析、主成分分析、系统聚类分析和隶属函数分析,研究不同品种在青海高寒环境下的适应性差异。

变异系数和多样性指数是评价植株性状多样性的重要指标^[18],本研究中有3个数量性状的变异幅度较大,变异系数均大于0.30,依次是短缩茎高

表 8 大白菜品种不同性状的主成分分析

Table 8 Principal component analysis of different traits in Chinese cabbage varieties

指标 Indicator	主成分 Principal component								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
总糖含量-叶片 Total sugar content- leaf blade	-0.25	0.80	-0.10	0.05	0.22	0.15	-0.04	0.04	0.20
总糖含量-叶柄 Total sugar content- leaf stem	-0.03	0.41	-0.38	-0.19	0.56	0.18	-0.10	-0.02	0.44
可溶性糖含量-叶片 Soluble sugar content- leaf blade	0.06	0.14	-0.23	0.18	0.23	0.82	0.23	0.11	-0.10
可溶性糖含量-叶柄 Soluble sugar content- leaf stem	0.12	-0.05	-0.01	-0.14	0.23	0.01	0.08	0.89	0.21
可溶性蛋白含量-叶片 Soluble protein content- leaf blade	-0.31	-0.87	-0.10	-0.18	0.05	-0.01	0.04	0.17	0.05
可溶性蛋白含量-叶柄 Soluble protein content- leaf stem	-0.72	0.20	0.47	-0.12	-0.11	0.09	-0.26	-0.20	-0.01
亚硝酸盐含量-叶片 Nitrite content- leaf blade	0.13	0.78	0.15	0.20	0.26	-0.14	0.34	0.07	-0.14
亚硝酸盐含量-叶柄 Nitrite content- leaf stem	0.16	-0.18	0.42	-0.22	-0.54	-0.17	0.24	0.30	0.27
含水量-叶片 Moisture content- leaf blade	0.93	0.09	-0.04	0.08	-0.17	-0.09	-0.12	0.07	-0.06
含水量-叶柄 Moisture content- leaf stem	0.70	0.14	-0.26	-0.09	-0.57	0.09	-0.13	-0.07	-0.03
粗纤维含量-叶片 Crude fiber content- leaf blade	-0.29	-0.55	-0.52	0.32	-0.03	-0.23	0.04	-0.02	0.32
粗纤维含量-叶柄 Crude fiber content- leaf stem	-0.15	-0.63	-0.27	0.30	0.11	-0.23	-0.41	-0.20	0.13
维生素 C 含量-叶片 Vitamin C content- leaf blade	0.18	0.62	-0.26	-0.44	0.13	-0.12	-0.28	0.13	0.34
维生素 C 含量-叶柄 Vitamin C content- leaf stem	0.11	0.00	0.09	-0.06	-0.06	-0.16	-0.08	0.17	0.90
硫代葡萄糖苷含量-叶片 Glucosinolate content- leaf blade	0.19	0.03	-0.30	0.08	-0.15	-0.73	-0.08	0.20	0.21
硫代葡萄糖苷含量-叶柄 Glucosinolate content- leaf stem	-0.04	-0.12	0.00	-0.80	-0.13	-0.14	0.12	0.22	0.22
株高 Plant height	0.25	0.09	0.12	-0.11	-0.16	0.22	0.86	0.00	-0.13
株幅 Plant spread	0.14	0.20	0.13	0.03	0.89	0.16	-0.12	0.12	-0.05
球高 Head height	-0.10	0.01	0.80	0.07	0.11	-0.31	0.23	-0.01	0.02
球宽 Head width	0.37	-0.22	0.32	0.02	0.30	0.01	0.29	-0.67	0.07
单球毛质量 Gross mass per head	0.80	0.16	0.21	0.17	0.27	0.04	0.38	-0.08	0.07
单球净质量 Net mass per head	0.86	0.22	0.12	0.19	0.20	0.11	0.19	-0.03	0.21
外叶数 Outer leaf count	0.34	0.00	0.11	0.88	-0.07	0.01	-0.01	0.06	0.14
球叶数 Inner leaf count	0.39	-0.06	-0.26	0.48	0.21	-0.36	-0.49	0.24	-0.22
短缩茎高度 Core height	-0.02	0.10	0.85	0.11	-0.02	0.30	0.02	-0.13	0.07
中肋厚 Midrib thickness	0.42	0.03	0.00	0.12	-0.12	0.56	0.02	0.45	0.12
特征值 Eigenvalue	4.32	3.58	2.85	2.39	2.36	2.23	1.93	1.91	1.69
贡献率 Contribution rate/%	16.63	13.77	10.94	9.20	9.09	8.57	7.41	7.36	6.49
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	16.63	30.40	41.34	50.54	59.63	68.20	75.61	82.97	89.46

度、单球毛质量、单球净质量。这与范伟强等^[5]不同品种间短缩茎高度变异系数较大的结论一致。多样性指数分析结果显示,球叶数、株幅、球宽、单球净质量、短缩茎高度、单球毛质量和株高等 7 个性状具有较为丰富的多样性。相关性分析结果显示,数量性状中极显著相关的有 2 对,分别为单球毛质量与球宽、单球净质量与单球毛质量,这与马英夏等^[19]单球质量与叶球横径呈极显著正相关的研究结果一致;营养品质中极显著相关的有 7 对,分别为叶片粗纤维含量与叶柄维生素 C 含量、叶片含水量与叶柄粗纤维含量、叶片可溶性蛋白含量与亚硝酸

盐含量、叶片总糖含量与维生素 C 含量、叶片维生素 C 含量与叶柄可溶性糖含量、叶片可溶性糖含量与硫代葡萄糖苷含量及叶片含水量与叶柄亚硝酸盐含量。

青海省昼夜温差大,有利于糖分积累,当地种植的蔬菜营养丰富^[20],筛选出品质较好的品种有助于农民增收。运用主成分分析与聚类分析方法对大白菜种质资源进行筛选,在提高育种效率和质量方面具有重要的理论价值和实践指导意义^[21]。通过主成分分析,筛选出 B15(天青 75)、B6(胶研 5869)、B13(大青麻叶)、B3(改良青杂 3 号)等综合

表 9 20 个大白菜品种的性状综合评价
Table 9 Comprehensive evaluation of traits in 20 Chinese cabbage varieties

品种 Variety	主成分得分 Score and ranking									F	排名 Ranking
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9		
B1	-0.01	-1.00	-0.05	-0.47	0.36	1.89	1.37	-0.57	-0.85	0.01	11
B2	-0.77	-1.07	0.92	0.13	-0.31	0.31	-0.45	-0.17	-0.62	-0.28	17
B3	0.84	0.62	0.10	0.98	0.43	0.63	-0.49	-0.32	0.15	0.42	4
B4	1.26	0.38	-0.16	-0.97	-1.74	-0.82	-0.82	-0.83	-0.12	-0.23	14
B5	-0.91	1.50	-0.64	-0.39	1.72	-0.86	0.22	-0.83	0.96	0.06	9
B6	1.52	1.25	-0.39	-1.24	1.44	0.95	-0.08	0.77	-1.39	0.49	2
B7	-0.17	-0.90	1.00	0.72	-0.08	-1.64	0.09	2.34	-1.21	-0.03	12
B8	-1.55	1.57	2.86	-0.40	-0.60	0.60	-1.00	-0.07	-0.43	0.14	7
B9	0.00	0.58	-0.76	2.52	0.28	1.20	-0.60	-0.64	-1.41	0.19	6
B10	-0.36	-0.44	-0.88	-0.61	1.82	-1.22	-0.86	1.08	-0.28	-0.24	15
B11	-0.99	0.86	-0.53	-0.35	0.04	-0.71	-0.27	-0.87	0.47	-0.27	16
B12	1.32	-0.13	0.25	1.43	-0.22	-0.65	-0.65	-0.81	1.19	0.28	5
B13	0.27	0.51	-0.36	-0.44	-0.75	1.57	-0.54	2.34	2.45	0.44	3
B14	-1.49	0.31	-1.19	-0.10	-0.88	-0.22	1.58	0.52	-0.69	-0.37	18
B15	1.47	-0.57	2.00	-0.39	1.10	-0.45	2.10	-0.58	0.78	0.64	1
B16	0.42	0.64	-0.76	-0.27	-1.77	0.10	1.71	0.19	-0.26	0.02	10
B17	0.90	-1.35	-0.59	-1.37	-0.66	-0.23	-1.66	-0.58	-0.83	-0.59	19
B18	-0.16	-1.24	-0.27	1.47	0.26	0.29	0.01	0.54	0.94	0.07	8
B19	-0.12	0.31	-0.27	0.62	-0.69	-1.50	0.63	-0.48	0.22	-0.13	13
B20	-1.49	-1.84	-0.27	-0.86	0.25	0.78	-0.28	-1.07	0.92	-0.62	20

表 10 20 个大白菜品种的隶属函数值
Table 10 Membership function value of 20 Chinese cabbage varieties

编号 Number	品种名称 Variety name	隶属函数值 Membership function value	编号 Number	品种名称 Variety name	隶属函数值 Membership function value
B1	翠青 8 号 Cuiqing No. 8	0.41	B11	瓣帮白菜 Pibang Chinese cabbage	0.40
B2	大将军 Dajiangjun	0.44	B12	秋喜 Qiuxi	0.53
B3	改良青杂 3 号 Gailiang Qingza No. 3	0.48	B13	大青麻叶 Daqingmaye	0.51
B4	华耐 B1102 Huanai B1102	0.39	B14	天青 55 Tianqing 55	0.33
B5	胶蔬秋季王 Jiaoshu Autumn King	0.44	B15	天青 75 Tianqing 75	0.51
B6	胶研 5869 Jiaoyan 5869	0.44	B16	津双 60 Jinshuang 60	0.42
B7	胶研七号 Jiaoyan No. 7	0.46	B17	新北京 3 号 New Beijing No. 3	0.39
B8	胶研三号 Jiaoyan No. 3	0.36	B18	新美 034 Xinmei 034	0.43
B9	颗颗十八斤 Keke Shibajin	0.38	B19	新美 159 Xinmei 159	0.48
B10	萌黄 2 号 Menghuang No. 2	0.43	B20	紫裔 Ziyi	0.32

表现较好的品种,这些品种在农艺性状和营养品质上均表现出较强的适应性,适合在青海高寒地区推广种植;隶属函数分析结果显示,隶属函数值大于或等于平均值的品种有 11 个,为 B12(秋喜)、B15(天青 75)、B13(大青麻叶)、B3(改良青杂 3 号)、B19(新美 159)、B7(胶研七号)、B5(胶蔬秋季王)、

B6(胶研 5869)、B2(大将军)、B18(新美 034)、B10(萌黄 2 号)。聚类分析将 20 个大白菜品种分为 5 个组群,不同组群在农艺性状和营养品质上表现出差异。第 III 类(胶研 5869、大青麻叶)在总糖含量、可溶性糖含量、维生素 C 含量等营养指标上表现较好,适合作为高营养品质品种进行推广。第 IV 类

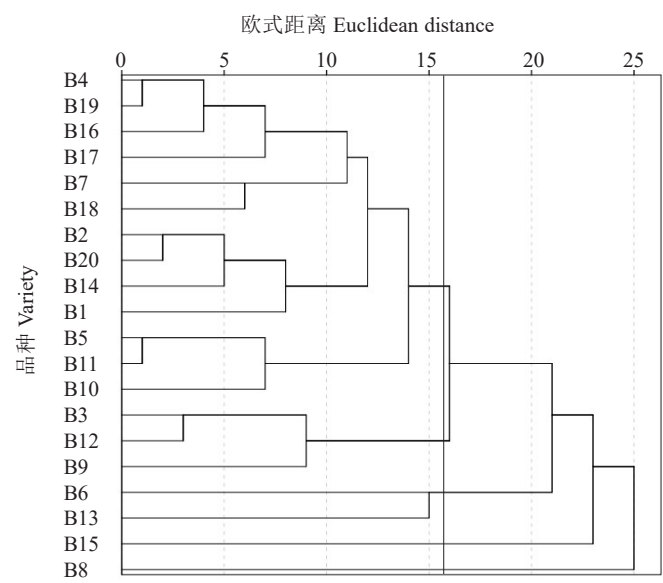


图 2 20 个大白菜品种的聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of 20 Chinese cabbage varieties

表 11 5 个组群指标的均值分析

Table 11 Mean analysis of indicators of the five groups

指标 Indicator	I	II	III	IV	V
总糖含量-叶片 Total sugar content - leaf blade	0.34	0.50	0.62	0.10	0.61
总糖含量-叶柄 Total sugar content- leaf stem	0.50	0.53	0.90	0.47	0.38
可溶性糖含量-叶片 Soluble sugar content- leaf blade	0.26	0.53	0.72	0.40	0.24
可溶性糖含量-叶柄 Soluble sugar content- leaf stem	0.23	0.06	0.77	0.39	0.01
可溶性蛋白含量-叶片 Soluble protein content- leaf blade	0.56	0.09	0.29	0.36	0.00
可溶性蛋白含量-叶柄 Soluble protein content- leaf stem	0.22	0.09	0.09	0.02	1.00
亚硝酸盐含量-叶片 Nitrite content- leaf blade	0.61	0.82	0.78	0.87	0.96
亚硝酸盐含量-叶柄 Nitrite content- leaf stem	0.58	0.33	0.61	0.93	0.79
含水量-叶片 Moisture content - leaf blade	0.53	0.80	0.81	0.79	0.20
含水量-叶柄 Moisture content- leaf stem	0.32	0.49	0.59	0.27	0.02
粗纤维含量-叶片 Crude fiber content- leaf blade	0.79	0.75	0.36	0.44	0.07
粗纤维含量-叶柄 Crude fiber content- leaf stem	0.64	0.73	0.17	0.18	0.12
维生素 C 含量-叶片 Vitamin C content- leaf blade	0.36	0.33	0.79	0.18	0.44
维生素 C 含量-叶柄 Vitamin C content- leaf stem	0.30	0.25	0.50	0.60	0.31
硫代葡萄糖苷含量-叶片 Glucosinolate content- leaf blade	0.81	0.75	0.66	0.72	0.38
硫代葡萄糖苷含量-叶柄 Glucosinolate content- leaf stem	0.77	0.37	0.88	0.74	0.71
株高 Plant height	0.35	0.24	0.39	0.86	0.27
株幅 Plant spread	0.42	0.60	0.72	0.76	0.61
球高 Head height	0.29	0.26	0.07	1.00	0.81
球宽 Head width	0.39	0.53	0.19	1.00	0.28
单球毛质量 Gross mass per head	0.27	0.55	0.55	1.00	0.11
单球净质量 Net mass per head	0.28	0.74	0.76	1.00	0.08
外叶数 Outer leaf count	0.24	0.77	0.31	0.38	0.15
球叶数 Inner leaf count	0.42	0.84	0.41	0.06	0.04
短缩茎高度 Core height	0.20	0.38	0.19	0.65	1.00
中肋厚 Midrib thickness	0.40	0.64	0.87	0.38	0.39

(天青 75)虽然营养品质表现不突出,但其植株高大、产量较高,适宜作为高产品种推广。而第 V 类(胶研三号)大部分性状表现较差,可能不适合大规模推广。本研究中 20 个品种大白菜的可溶性蛋白含量普遍高于宋廷宇等^[22]研究中测定的大白菜蛋白质含量,其原因可能是青海地处高海拔地区,昼夜温差大,利于蛋白质等营养成分的积累。

综上所述,结合主成分分析、聚类分析、隶属函数综合分析,共筛选出 5 个表现较好的品种(天青 75、大青麻叶、胶研 5869、改良青杂 3 号、秋喜),但由于大青麻叶在收获时结球较松散,品质不佳,不适宜青海种植,最终筛选出 4 个适宜青海种植的品种,分别为天青 75、胶研 5869、改良青杂 3 号和秋喜,其中天青 75 在球高、球宽、单球毛质量、单球净质量等农艺性状上表现突出,叶柄中亚硝酸盐含量较低;胶研 5869 的株幅、单球净质量表现较好,叶柄中总糖含量较高,叶片中可溶性糖含量较高;改良青杂 3 号综合品质优良,无明显劣势;秋喜含水量较高,植株整体粗纤维含量较低。种植时可根据实际情况进行品种选择。

本试验样本量有限,未能全面代表大白菜种质资源的多样性,且仅进行一年期试验,未考虑年际气候波动对品种表现的影响。未来可引入更多优良品种,开展多年期试验,完善青海高寒地区大白菜品种适应性评价体系。

参考文献

- [1] 张丽英,熊敏,张雅青.我国蔬菜产业发展现状与机遇[J].农业与技术,2024,44(15):161-163.
- [2] 董春岩,牛明雷,姚艳,等.蔬菜全产业链大数据平台建设与应用研究:以大白菜为例[J].农业大数据学报,2021,3(1):66-72.
- [3] 张凤兰,于拴仓,余阳俊,等.“十三五”我国大白菜遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2021(1):22-32.
- [4] 高华.氮肥不同用量对大白菜产量及商品性的影响[J].安徽农学通报,2011,17(14):82-83.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 王军,蒋靖乾,杨阳,等.17 份不结球白菜的二倍体及其同源四倍体营养品质比较分析[J].上海农业学报,2025,41(1):7-13.
- [8] 金同铭,武兴德,刘玲,等.北京地区大白菜营养品质评价的研究[J].北京农业科学,1995(5):33-37.
- [9] 孙丽,李贞霞,王广印,等.不同品种直筒型大白菜的营养品质分析[J].广东农业科学,2013,40(20):35-37.
- [10] 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.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.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.
- [12] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [13] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [14] 陈俊华,文吉富,王国良,等.Excel 在计算群落生物多样性指数中的应用[J].四川林业科技,2009,30(3):88-90.
- [15] 吴欣明,郭璞,池惠武,等.国外紫花苜蓿种质资源表型性状与品质多样性分析[J].植物遗传资源学报,2018,19(1):103-111.
- [16] 李莉,邵登魁,钟启文,等.青海省蔬菜产业现状与发展思路[J].辣椒杂志,2010,8(3):1-4.
- [17] 张海燕.青海高寒地区西瓜-辣椒-大白菜高效套作种植技术[J].农业工程技术,2018,38(17):58-59.
- [18] 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.
- [19] 马英夏,张恩慧,杨安平,等.甘蓝杂种一代整齐度主要评判标准研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(9):155-160.
- [20] 罗珺.冷凉蔬菜:高原上生长的绿色瑰宝[N].青海日报,2024-08-08(9).
- [21] 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.
- [22] 宋廷宇,侯喜林,何启伟,等.薹菜、大白菜与白菜营养成分评价[J].山东农业科学,2007(5):21-22.