

利用隶属函数法综合评价 8 个大白菜品种性状

徐义康¹, 高飞¹, 施柳^{1,2}, 孙夏莉¹, 王方¹, 许双双¹, 臧运祥¹

(1. 浙江农林大学 农业与食品科学学院 浙江省农产品品质改良技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311300;
2. 上海市崇明区中兴镇农业技术推广中心, 上海 202150)

摘要: 以 8 个大白菜 *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* 品种为试材, 比较它们在浙江地区气候条件下株高、叶长、叶宽、叶片数量、开展度、包心情况、冻害情况等生物学性状及可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素 C (VC)、纤维素、硫代葡萄糖苷等 5 个营养品质指标差异。结果表明: ‘橘红心’ ‘Juhongxin’ 叶片开展度最大 (45.2 cm), 蛋白质质量分数最高 (2.21 mg·g⁻¹); ‘沂丰橘红心’ ‘Yifeng Juhongxin’ 叶片数量最多 (21.2 片), 株高最高 (23.2 cm); ‘红圣白 2 号’ ‘Hongshengbai 2’ 叶片最长 (27.2 cm), VC (208.1 mg·kg⁻¹) 和纤维素质量分数 (122.1 mg·g⁻¹) 均最高, 冻害发生较严重 (87.18%); ‘夏抗王’ ‘Xiakangwang’ 叶片最宽 (22.2 cm), 包心率最高 (86.67%), 且包心紧实; ‘菊锦’ ‘Jujin’ 可溶性糖质量分数 (225.9 mg·g⁻¹), 总硫苷 (13.211 μmol·g⁻¹), 吲哚族硫苷 (1.843 μmol·g⁻¹) 和脂肪硫苷质量摩尔浓度 (6.751 μmol·g⁻¹) 均最高; ‘春小黄娃娃菜’ ‘Chunxiaohuang Wawacai’ 的芳香族硫苷质量摩尔浓度最高 (0.750 μmol·g⁻¹)。利用隶属函数法对 8 个品种大白菜生物学性状和营养品质进行综合评价, ‘夏抗王’ 的隶属函数值最高 (0.067), ‘改良新夏阳’ ‘Gailiang Xinxiayang’ 的隶属函数值次之 (0.062), ‘春小黄娃娃菜’ 的隶属函数值最低 (0.036)。因此, 8 个品种中最适宜在浙江进行引种栽培的品种为 ‘夏抗王’, 其次是 ‘改良新夏阳’。图 1 表 5 参 25

关键词: 园艺学; 大白菜; 隶属函数法; 生物学性状; 营养品质

中图分类号: S634.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2018)05-0845-08

Evaluation of eight Chinese cabbage cultivars using the membership function method

XU Yikang¹, GAO Fei¹, SHI Liu^{1,2}, SUN Xiali¹, WANG Fang¹, XU Shuangshuang¹, ZANG Yunxiang¹

(1. The key Laboratory for Quality Improvement of Agricultural Products of Zhejiang Province, College of Agriculture and Food Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Agriculture Technology Extension Center of Zhongxing Town, Shanghai 202150, China)

Abstract: In order to analyze the adaptability of different Chinese cabbage cultivars in Zhejiang climatic conditions, eight Chinese cabbage (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis*) cultivars were used to compare their biological characteristics (plant height, leaf length, leaf width, number of blades, spread degree, wrap condition, and frozen injury) as well as nutritional quality (soluble sugar, soluble protein, vitamin C, cellulose, and glucosinolates) differences. Biological characteristics were obtained by ruler *etc* and analysis of nutritional quality were performed according to the methods from references. Each sample was analyzed three times and each experiment was conducted in triplicate ($n = 3$). The results were expressed as means \pm SE. Statistical comparisons were made by one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's multiple range test ($P = 0.05$). Results showed that *Brassica rapa* ssp. *pekinensis* ‘Juhongxin’ had the highest blade development (45.2 cm)

收稿日期: 2017-10-12; 修回日期: 2017-11-09

基金项目: 国家自然科学基金面上资助项目 (31572130, 31000916); 浙江省公益技术应用研究计划项目 (2015C32058); 浙江省自然科学基金资助项目 (LY14C150005, Y3090538)

作者简介: 徐义康, 从事蔬菜品质调控与分子机理研究。E-mail: 1553621403@qq.com。通信作者: 臧运祥, 教授, 博士, 从事园艺作物品质生理、生物技术与分子育种研究。E-mail: yxzang@zafu.edu.cn

and the highest protein content. ‘Yifengjuhongxin’ had the highest number of leaves (21.2 pieces) and was the tallest (23.2 cm). ‘Hongshengbai 2’ had the longest leaves (27.2 cm), the highest vitamin C (208.1 mg·g⁻¹) and cellulose content (122.1 mg·g⁻¹), but its frost damage was serious (87.18%). ‘Xiakangwang’ had the widest leaf width (22.2 cm), the highest heading rate (86.67%), and a high head compactness. ‘Jujin’ had the highest levels of soluble sugar (225.9 mg·g⁻¹), total glucosinolate (13.211 μmol·g⁻¹), indole glucosinolate (1.843 μmol·g⁻¹), and aliphatic glucosinolate content (6.751 μmol·g⁻¹); whereas, the highest content of aromatic glucosinolate was found in ‘Chunxiaohuang Wawacai’ (0.750 μmol·g⁻¹). The highest value with the membership function method for biological characteristics and nutritional quality was ‘Xiakangwang’ (0.067) followed by ‘Gailiang Xinxiayang’ (0.062), with the lowest being ‘Chunxiaohuang Wawacai’ (0.036). Therefore, the most suitable among these eight cultivars for cultivation in Zhejiang was ‘Xiakangwang’ followed by ‘Gailiang Xinxiayang’. [Ch, 1 fig. 5 tab. 25 ref.]

Key words: horticulture; Chinese cabbage; membership function method; biological traits; nutritional quality

大白菜 *Brassica rapa* ssp. *pekinensis*, 又称白菜、结球白菜, 是十字花科 Cruciferaeae 芸薹属 *Brassica* 的主要叶用蔬菜, 含有丰富的糖类、脂肪、蛋白质、膳食纤维、维生素C(VC)、硫苷等营养成分, 具有帮助消化、降低血脂、预防心血管疾病和防癌抗癌等功效^[1-2]。中国大白菜播种面积近 267 万 hm²·a⁻¹, 产值 600 亿元·a⁻¹^[3]。但大白菜不耐高温, 耐冷但不耐冻。浙江地区由于夏季高温多雨、冬季低温寒冷, 严重制约了大白菜的产量品质和引种推广^[4]。环境条件对大白菜生长发育有非常大的影响, 尤其是对大白菜生物学性状和营养品质有影响^[5-6]。区域间引种是优质种质资源扩大栽培范围和良种选育的前提, 对引入区域大白菜的生物学性状和营养品质进行综合评价是引种的重要依据。特定区域蔬菜品种综合评价仅通过单一的营养指标通常很难完成, 只有采用多个指标才能比较全面精确地反映不同品种营养品质的差异。与聚类分析和主成分分析法相比, 隶属函数法可以较好地对不同生物学性状和营养品质进行综合评价, 方法简便, 可优先选用^[7]。近年来, 国内外在莴苣 *Lactuca sativa*, 番茄 *Lycopersicon esculentum*, 黄瓜 *Cucumis sativus* 等营养品质的研究方面有不少报道^[8-9], 但对于大白菜生物学性状和营养品质的综合评价却少见报道。本试验以引入的 8 个大白菜品种为试验材料, 测定其主要生物学性状、可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素 C、纤维素和硫苷等含量, 并利用隶属函数法对其适应性和营养品质进行综合评价, 以期为大白菜优质种质资源在浙江的选育和推广奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试大白菜包括 3 个橘红心品种: ‘橘红心’ ‘Juhongxin’ (山东省德民种业有限公司)、‘沂丰橘红心’ ‘Yifeng Juhongxin’ (山东省临朐县沂丰种子有限公司)和‘红圣白 2 号’ ‘Hongshengbai 2’ (青岛市胶州大白菜研究所有限公司); 3 个普通大白菜品种: ‘夏抗王’ ‘Xiakangwang’ (青岛市胶州大白菜研究所有限公司)、‘改良新夏阳’ ‘Gailiang Xinxiayang’ (香港惟勤企业有限公司)和‘菊锦’ ‘Jujin’ (日本东北种苗株式会社); 2 个娃娃菜品种: ‘佳丽娃娃菜’ ‘Jiali Wawacai’ (东部韩农种苗科技有限公司)和‘春小黄娃娃菜’ ‘Chunxiaohuang Wawacai’ (韩国东部韩农种苗株式会社)。8 月下旬在浙江农林大学农学试验基地进行播种育苗, 待长出 6 片真叶后移栽至试验田, 株行距为 40 cm × 50 cm。栽培 3 个小区·品种⁻¹, 60 株·小区⁻¹。所有大白菜品种的水肥及病虫害防治等综合管理均采用统一标准。

1.2 试验方法

大白菜长至 6 片真叶后进行露地移栽, 约 60 株·品种⁻¹·小区⁻¹, 莲座期各小区选取 10 株长势一致的大白菜测定叶片生长情况、开展度等, 采收期统计各小区内所有大白菜的包心程度、叶球紧实度以及冻害情况等。包心情况根据采收期大白菜包心株数与总株数之间的比值确定; 冻害情况根据采收期大白菜受冻害株数与总株数之间的比值确定; 大白菜的株高、叶片生长情况(叶长、叶宽、叶片开展度等)用直尺测量。采收期在每个品种试验地随机取样, 设重复 3 次·样品⁻¹。运至浙江省农产品品质改良技术研究重点实验室, 采用四分法取叶片, 剪碎混匀, 精确称取 10 g, 平分为 3 部分: ①用于维生素 C、可溶性

蛋白质测定；②经 60 °C 烘干，粉碎、过筛，贮于干燥器中，用于测定可溶性糖和纤维素；③用液氮速冻、冻干机冻干后，磨成细粉，储于-80 °C 冰箱中，用于硫苷的测定。

1.3 测定项目及方法

维生素 C 质量分数测定采用 2,6-二氯酚靛酚钠法，可溶性蛋白质质量分数测定采用 G-250 考马斯亮蓝法，可溶性糖质量分数测定采用蒽酮试剂比色法^[10]，纤维素质量分数测定采用蒽酮硫酸比色法^[11]。以上均测定的是鲜质量的质量分数。硫苷质量摩尔浓度(干质量)测定参照廖永翠等^[12]的试验方法。

1.4 数据分析

试验结果为 3 次重复的平均值±标准差，数据的差异显著性使用 SPSS 17.0 软件统计分析。依据各性状之间的关系，建立多层次综合评判模型，并根据各栽培性状的重要性请园艺专家确定各指标权重(图 1)。各聚类数分支数值代表响应指标所占的权重。

若该指标与生物学性状、营养品质呈正相关，其计算公式为： $U(X_i)=(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$ ， $i=1, 2, 3, \dots, n$ ，其中： X_i 为指标测定值； X_{max} 和 X_{min} 分别为该指标测定值的最大值和最小值；反之，其计算公式为： $U(X_i)=1-(X_i-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$ ， $i=1, 2, 3, \dots, n$ 。依据模糊数学多因素综合决策原理，运用加权平均法和最大原则，对 8 个品种大白菜样品的生物学性状和营养品质进行综合评判，并按最终评判结果排序。综合评价结果按模糊隶属函数值 U_B 最大原则进行排序，值越大，样品综合性状越好，反之则越差。 $U_{A1}=0.022 \times (U_{C1}+U_{C2}+U_{C3}+U_{C4}+U_{C5})+0.300 \times (U_{C6}+U_{C7})$ ； $U_{A2}=0.040 \times U_{C8}+0.100 \times U_{C9}+0.050 \times (U_{C10}+U_{C11}+U_{C12})$ ； $U_B=0.710 \times U_{A1}+0.290 \times U_{A2}$ 。

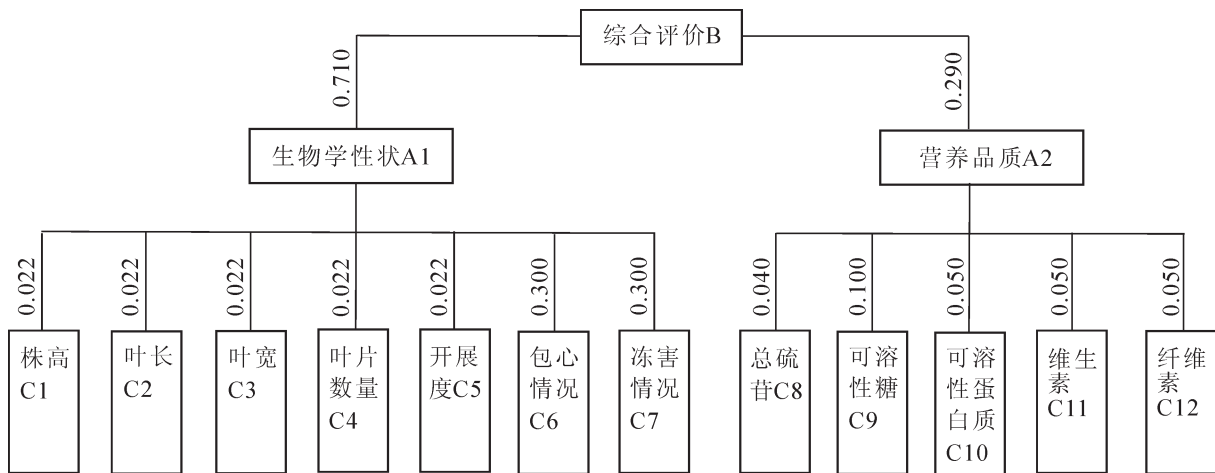


图 1 大白菜品种生物学性状和营养品质综合评价权重关系树

Figure 1 Weight diagram of biological traits and nutritional quality comprehensive evaluation of different Chinese cabbage cultivars

2 结果与分析

2.1 莲座期大白菜生物学性状比较

莲座期是大白菜生长的关键时期，是决定其产量形成的重要阶段。由表 1 可知：莲座期 8 个大白菜品种间株高差异较大。株高最高的有‘橘红心’和‘沂丰橘红心’，株高为 20~23 cm 的有‘红圣白 2 号’和‘夏抗王’，株高为 14~18 cm 的有‘改良新夏阳’‘菊锦’‘佳丽娃娃菜’和‘春小黄娃娃菜’，其中‘春小黄娃娃菜’最矮，仅为‘橘红心’和‘沂丰橘红心’的 60.3%。叶长最长的为‘红圣白 2 号’，‘橘红心’次之，其余品种叶长为 20~24 cm，其中‘春小黄娃娃菜’叶最短，仅为‘红圣白 2 号’的 73.5%。‘夏抗王’叶宽大于 21 cm，叶宽为 18~21 cm 的有‘橘红心’‘沂丰橘红心’和‘红圣白 2 号’，叶宽为 15~17 cm 的有‘改良新夏阳’‘佳丽娃娃菜’和‘春小黄娃娃菜’，‘菊锦’叶最窄，仅为‘夏抗王’的 63.1%。叶片数最多的为‘沂丰橘红心’，‘红圣白 2 号’次之，其余品种叶片数为 13~17 片，其中‘改良新夏阳’和‘菊锦’叶片数最少，仅为‘沂丰橘红心’叶片数的 61.3%。叶开展度最高的为‘橘红心’，其次为‘沂丰橘红心’‘改良新夏阳’和‘菊锦’，开展度为 36~39 cm 的有

‘红圣白2号’ ‘夏抗王’和‘佳丽娃娃菜’，‘春小黄娃娃菜’开展度最低，为‘橘红心’的77.4%。

表1 大白菜莲座期生物学性状比较

Table 1 Comparison of biological traits of different Chinese cabbage cultivars at rosette stage

品种	株高/cm	叶长/cm	叶宽/cm	叶片数量	开展度/cm
‘橘红心’	23.0 a	25.4 b	19.5 bc	15.5 cd	45.2 a
‘沂丰橘红心’	23.2 a	23.9 c	20.6 b	21.2 a	40.1 b
‘红圣白2号’	22.6 a	27.2 a	18.4 c	19.5 ab	38.6 bc
‘夏抗王’	20.7 ab	23.9 c	22.2 a	16.3 c	36.2 d
‘改良新夏阳’	16.9 c	21.3 de	16.5 d	13.0 ef	40.1 b
‘菊锦’	16.9 c	22.6 cd	14.0 f	13.0 ef	40.1 b
‘佳丽娃娃菜’	17.3 c	21.3 de	15.5 de	14.8 cde	36.2 d
‘春小黄娃娃菜’	4.0 d	20.0 e	15.5 de	16.3 c	35.0 de

说明：同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

2.2 采收期大白菜生物学性状比较

由表2可知：采收期8个大白菜品种生物学性状差异较大。2个大白菜品种有冻害发生，冻害情况最严重的为‘红圣白2号’，显著高于其他7个品种；其次是‘橘红心’，冻害状况略轻，为‘红圣白2号’的19.4%。6个大白菜品种表现包心，包心率在80%以上的有‘红圣白2号’和‘夏抗王’；包心率为50%~79%的有‘沂丰橘红心’ ‘改良新夏阳’和‘佳丽娃娃菜’；‘橘红心’包心率低于49%，仅为‘夏抗王’的39.1%。‘菊锦’和‘春小黄娃娃菜’不包心。多数大白菜品种包心后，表现较为紧实，除了‘红圣白2号’。

表2 不同品种大白菜采收期生物学性状比较

Table 2 Comparison of biological traits of different Chinese cabbage cultivars at harvest stage

品种	冻害比例/%	包心比例/%	紧实度	品种	冻害比例/%	包心比例/%	紧实度
‘橘红心’	16.95 b	33.90 d	紧	‘改良新夏阳’	0 c	72.73 b	紧
‘沂丰橘红心’	0.00 c	65.38 b	紧	‘菊锦’	0 c	0 e	-
‘红圣白2号’	87.18 a	84.62 a	松	‘佳丽娃娃菜’	0 c	54.29 c	紧
‘夏抗王’	0 c	86.67 a	紧	‘春小黄娃娃菜’	0 c	0 e	-

说明：同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)；-代表不包心

2.3 采收期大白菜硫苷质量摩尔浓度比较

由表3可知：8个大白菜品种间硫苷质量摩尔浓度存在较大差异，尤其是总硫苷质量摩尔浓度。总硫苷质量摩尔浓度最高的是‘菊锦’，‘夏抗王’次之，总硫苷质量摩尔浓度范围5.0~7.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘改良新夏阳’和‘春小黄娃娃菜’，2.0~4.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘橘红心’ ‘沂丰橘红心’ ‘红圣白2号’和‘佳丽娃娃菜’。与总硫苷质量摩尔浓度表现类似的是，脂肪族硫苷质量摩尔浓度较高的2个品种也是‘菊锦’和‘夏抗王’，可见大白菜总硫苷与脂肪族硫苷质量摩尔浓度呈正相关关系。脂肪族硫苷质量摩尔浓度为1.0~3.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘春小黄娃娃菜’ ‘沂丰橘红心’ ‘改良新夏阳’和‘佳丽娃娃菜’，低于1.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘橘红心’和‘红圣白2号’，仅为‘菊锦’脂肪族硫苷质量摩尔浓度的8.4%和7.6%。8个品种中吲哚族硫苷质量摩尔浓度大于1.3 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 品种有‘菊锦’ ‘春小黄娃娃菜’和‘改良新夏阳’，其中‘菊锦’质量摩尔浓度最高；质量摩尔浓度为0.9~1.2 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘夏抗王’ ‘沂丰橘红心’ ‘红圣白2号’；质量摩尔浓度为0.6~0.8 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘橘红心’ ‘佳丽娃娃菜’，其中质量摩尔浓度最低的是‘橘红心’，仅为‘菊锦’的34.9%。8个大白菜品种芳香族硫苷质量摩尔浓度均低于脂肪族硫苷、吲哚族硫苷。‘春小黄娃娃菜’和‘菊锦’芳香族硫苷质量摩尔浓度显著高于其他6个品种；芳香族硫苷质量摩尔浓度为0.5~0.6 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘夏抗王’ ‘改良新夏阳’；0.2~0.4 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘橘红心’ ‘沂丰橘红心’ ‘红圣白2号’和‘佳丽娃娃菜’，其中质量摩尔浓度最低的是‘红圣白2号’，仅为‘春小黄娃娃菜’的33.6%。

表 3 大白菜品种硫苷质量摩尔浓度比较

Table 3 Comparison of glucosinolate content of different Chinese cabbage cultivars

品种	$b_{\text{总硫苷}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})$	$b_{\text{脂肪族硫苷}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})$	$b_{\text{吡咯族硫苷}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})$	$b_{\text{芳香族硫苷}}/(\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1})$
‘橘红心’	2.723 ± 0.029 e	0.564 ± 0.050 de	0.644 ± 0.018 ef	0.357 ± 0.013 d
‘沂丰橘红心’	3.735 ± 0.018 de	1.365 ± 0.002 cde	0.967 ± 0.014 cd	0.353 ± 0.005 d
‘红圣白 2 号’	2.741 ± 0.041 e	0.518 ± 0.043 de	0.980 ± 0.017 cd	0.252 ± 0.012 de
‘夏抗王’	9.006 ± 0.045 b	3.734 ± 0.087 b	1.153 ± 0.011 c	0.585 ± 0.010 b
‘改良新夏阳’	5.373 ± 0.021 cd	1.277 ± 0.017 cde	1.514 ± 0.007 b	0.555 ± 0.011 bc
‘菊锦’	13.211 ± 0.023 a	6.751 ± 0.005 a	1.843 ± 0.005a	0.713 ± 0.003 ab
‘佳丽娃娃菜’	3.662 ± 0.027 de	1.798 ± 0.014 cd	0.776 ± 0.004 e	0.284 ± 0.016 de
‘春小黄娃娃菜’	6.307 ± 0.028 c	2.315 ± 0.012 bc	1.724 ± 0.004 a	0.750 ± 0.009 a

说明：同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.4 采收期大白菜品种营养成分质量分数比较

由表 4 可知：8 个大白菜品种间各营养成分质量分数也存在较大差异。可溶性糖质量分数大于 190 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的品种有‘夏抗王’‘春小黄娃娃菜’和‘菊锦’，质量分数最高的是‘菊锦’；170~180 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的品种有‘橘红心’‘红圣白 2 号’和‘改良新夏阳’；‘沂丰橘红心’和‘佳丽娃娃菜’可溶性糖质量分数相近，为 140~160 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。‘橘红心’可溶性蛋白质质量分数最高，‘菊锦’次之，‘沂丰橘红心’可溶性蛋白质质量分数最低，为‘橘红心’的 50.6%，其余品种可溶性蛋白质质量分数为 1.5~1.7 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。维生素 C 质量分数为 180~210 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的有‘红圣白 2 号’‘改良新夏阳’和‘菊锦’，其中‘红圣白 2 号’最高；‘夏抗王’维生素 C 质量分数最低，为‘红圣白 2 号’的 38.2%；其余品种维生素 C 质量分数为 90~130 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。大白菜不同品种间纤维素质量分数差异较小，纤维素质量分数为 140~160 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的有‘橘红心’‘夏抗王’和‘春小黄娃娃菜’，质量分数最低的是‘改良新夏阳’，其余品种纤维素质量分数为 110~130 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

表 4 不同大白菜品种营养成分质量分数比较

Table 4 Comparison of nutrient content of different Chinese cabbage cultivars

品种	$w_{\text{可溶性糖}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$w_{\text{可溶性蛋白质}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$	$w_{\text{维生素 C}}/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$w_{\text{纤维素}}/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$
‘橘红心’	177.2 ± 13.4 c	2.21 ± 0.20 a	125.4 ± 5.3 c	153.6 ± 0.8 a
‘沂丰橘红心’	150.7 ± 10.0 d	1.12 ± 0.11 d	91.7 ± 9.2 de	113.8 ± 0.8 de
‘红圣白 2 号’	175.8 ± 11.1 c	1.70 ± 0.10b	208.1 ± 5.3 a	122.1 ± 1.1 d
‘夏抗王’	223.4 ± 32.2 a	1.58 ± 0.04 bc	79.5 ± 19.1 e	155.3 ± 0.7 a
‘改良新夏阳’	174.2 ± 35.7 c	1.58 ± 0.05 bc	195.9 ± 5.3 ab	102.3 ± 0.1 f
‘菊锦’	225.9 ± 5.2 a	2.05 ± 0.03 a	189.8 ± 19.1 b	139.4 ± 0.5 bc
‘佳丽娃娃菜’	149.3 ± 20.1 d	1.60 ± 0.06 bc	94.8 ± 10.6 de	119.0 ± 0.5 de
‘春小黄娃娃菜’	194.2 ± 26.7 b	1.67 ± 0.02 b	104.1 ± 5.3 d	142.7 ± 0.8 ab

说明：同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.5 大白菜生物学性状和营养品质综合评价比较分析

为了全面反映不同大白菜品种的生物学性状和营养品质差异，采用模糊数学隶属函数法对大白菜的各生物学性状指标和营养指标进行综合评价。大白菜综合性状评价以生物学性状(株高、叶长、叶宽、叶片数量、开展度、包心情况、冻害情况)和营养品质(总硫苷、可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素 C、纤维素)为基础，根据模糊数学基本原理，运用加权平均法，得到模糊隶属函数值。由表 5 可知，‘夏抗王’的隶属函数值最高，‘改良新夏阳’隶属函数值比‘夏抗王’低 8.1%，‘沂丰橘红心’‘菊锦’和‘佳丽娃娃菜’隶属函数值为 0.047~0.055，隶属函数值为 0.036~0.047 的品种有‘橘红心’‘红圣白 2 号’和‘春小黄娃娃菜’，其中：‘春小黄娃娃菜’的隶属函数值最低，为‘夏抗王’的 53.7%。

3 讨论与结论

大白菜的营养品质与可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素 C 和纤维素质量分数等营养品质指标有极显

表5 大白菜生物学性状和营养品质综合评价比较

Table 5 Comparative evaluation of biological characters and nutritional quality of Chinese cabbage cultivars

品种	株高	叶长	叶宽	叶片数量	开展度	包心情况	冻害情况	总硫苷	可溶性糖	可溶性蛋白质	维生素C	纤维素	隶属函数值	排序
‘橘红心’	0.022	0.017	0.015	0.007	0.022	0.117	0.242	0.000	0.036	0.050	0.018	0.002	0.046	6
‘沂丰橘红心’	0.022	0.012	0.018	0.023	0.011	0.226	0.300	0.004	0.002	0.000	0.005	0.039	0.055	3
‘红圣白2号’	0.021	0.023	0.012	0.018	0.008	0.293	0.000	0.000	0.035	0.027	0.050	0.031	0.043	7
‘夏抗王’	0.016	0.012	0.023	0.009	0.003	0.300	0.300	0.024	0.097	0.021	0.000	0.000	0.067	1
‘改良新夏阳’	0.007	0.004	0.007	0.000	0.011	0.252	0.300	0.010	0.033	0.021	0.045	0.050	0.062	2
‘菊锦’	0.007	0.008	0.000	0.000	0.011	0.000	0.300	0.040	0.100	0.043	0.043	0.015	0.047	5
‘佳丽娃娃菜’	0.008	0.004	0.004	0.005	0.003	0.188	0.300	0.004	0.000	0.022	0.006	0.034	0.048	4
‘春小黄娃娃菜’	0.000	0.000	0.004	0.009	0.000	0.000	0.300	0.014	0.059	0.025	0.010	0.012	0.036	8

说明：同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

著的相关性，其中影响最大的是可溶性糖，其次是纤维素、可溶性蛋白质，可溶性糖和可溶性蛋白质起正向作用，纤维素起负向作用^[13]。本试验中，可溶性糖质量分数最高的是‘菊锦’($225.9 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)，比‘早熟5号’‘Zaoshu 5’^[14]高34.2%；可溶性蛋白质质量分数最高的是‘橘红心’($2.21 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)，为‘北京3号’‘Beijing 3’^[15]的2.3倍；维生素C质量分数最高的是‘红圣白2号’($208.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)，比‘金冠2号’‘Jinguan 2’^[16]低16.3%；纤维素质量分数最低的是‘改良新夏阳’($102.3 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)，明显高于张耀伟等^[17]的研究结果(0.39%)，可能是由于取样时期较晚且取样部位主要集中在外叶造成。有研究表明：可溶性糖含量的增加使大白菜甜度提高，口感改善，品质增强；纤维素含量的增加使大白菜口感发硬并且多渣，严重降低其品质^[18-19]。此外，硫苷作为十字花科植物的主要活性成分，且其降解产物也能影响植物的风味和营养品质^[20]。本试验发现，8个大白菜品种芳香族硫苷质量摩尔浓度均低于脂肪族硫苷和吲哚族硫苷质量摩尔浓度。‘菊锦’总硫苷、脂肪族硫苷和吲哚族硫苷质量摩尔浓度均最高，‘夏抗王’总硫苷和脂肪族硫苷质量摩尔浓度分别比‘菊锦’低46.7%和80.8%。大白菜主要以叶球作为食用器官，中国及东亚其他地区人们均偏好苦味较淡的口感，因此‘夏抗王’更符合人民群众的饮食习惯。

大白菜引种的关键除营养品质外，还须考虑引入地的纬度、海拔、土壤、气候条件对其生物学特性的影响^[21]。本试验发现，8个大白菜品种引入浙江后，‘红圣白2号’和‘橘红心’有冻害情况出现，尤其是‘红圣白2号’：冻害发生率高达87.18%。因此，‘红圣白2号’不适宜在浙江地区引种栽培。引入的大白菜品种包心情况差异较大，6个大白菜品种表现包心，其中‘夏抗王’包心率最高，包心紧实。‘菊锦’和‘春小黄娃娃菜’分别引自日本和韩国，但在浙江地区栽培并没有表现出原产地超强的结球能力，表现为不包心，因此，两者也不适宜在浙江地区引种栽培。

用隶属函数分析法对经济作物等进行综合评价已有报道^[22-25]。本试验发现，‘夏抗王’的隶属函数值最高，‘改良新夏阳’隶属函数值比‘夏抗王’低8.1%，‘沂丰橘红心’‘菊锦’和‘佳丽娃娃菜’隶属函数值居中，‘红圣白2号’‘橘红心’和‘春小黄娃娃菜’的隶属函数值较低。因此8个大白菜品种中，最适宜在浙江地区引种栽培的品种是‘夏抗王’，其次是‘改良新夏阳’，‘橘红心’和‘红圣白2号’不耐低温，易受冻害，‘菊锦’和‘春小黄娃娃菜’不包心。这4个大白菜品种均不适宜在浙江引种栽培。

4 参考文献

- [1] PADILLA G, CARTEA ME, VELASCO P, *et al.* Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica rapa* [J]. *Phytochemistry*, 2007, **68**(4): 536 - 545.
- [2] 张一卉, 李化银, 王凤德, 等. 优质桔红心大白菜种质创新与新品种选育[J]. *山东农业科学*, 2017, **49**(5): 14 - 22, 26.
ZHANG Yihui, LI Huayin, WANG Fengde, *et al.* Germplasm innovation and new variety breeding in orange leafy head Chinese cabbage (*Brassica rapa* L. ssp. *pekinensis*) [J]. *Shandong Agric Sci*, 2017, **49**(5): 14 - 22, 26.
- [3] 张风兰, 于拴仓, 余阳俊, 等. “十二五”我国大白菜遗传育种研究进展[J]. *中国蔬菜*, 2017(3): 16 - 22.
ZHANG Fenglan, YU Shuancang, YU Yangjun, *et al.* Research progress on Chinese cabbage genetic breeding during

- “the Twelfth Five-year Plan in China” [J]. *Chin Veg*, 2017(3): 16 – 22.
- [4] 陈芳, 谷晓平, 梁平, 等. 低温冻害对大白菜形态变化的影响[J]. 气象与环境科学, 2017, **40**(2): 55 – 59.
CHEN Fang, GU Xiaoping, LIANG Ping, *et al.* Influence of low temperature freezing injury on Chinese cabbage morphological changes [J]. *Meteorol Environ Sci*, 2017, **40**(2): 55 – 59.
- [5] WANG Jingjie, YU Nan, MU Guangmao, *et al.* Screening for Cd-safe cultivars of Chinese cabbage and a preliminary study on the mechanisms of Cd accumulation [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, **14**(4): 395.
- [6] 邱海杰, 熊治廷, 费利西泰. 水杨酸对 Cd 胁迫下 2 种大白菜主要营养品质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2006, **25**(4): 871 – 874.
QIU Haijie, XIONG Zhiting, FELICITE O M. Effects of salicylic acid on main nutritive qualities of two kinds of Chinese cabbages under cadmium stress [J]. *J Agro-Environ Sci*, 2006, **25**(4): 871 – 874.
- [7] 王军娥, 薛晋轩, 景维坤, 等. 利用隶属函数法对 8 种不同石竹属材料主要观赏性状的综合评价[J]. 山西农业大学学报, 2016, **36**(10): 709 – 714.
WANG Jun'e, XUE Jinxuan, JING Weishen, *et al.* The comprehensive evaluation on main ornamental characteristic of eight different *Dianthus* plants by subordinate function [J]. *J Shanxi Agric Univ*, 2016, **36**(10): 709 – 714.
- [8] 高方胜, 王磊, 徐坤. 砧木与嫁接番茄产量品质关系的综合评价[J]. 中国农业科学, 2014, **47**(3): 605 – 612.
GAO Fangsheng, WANG Lei, XU Kun. Comprehensive evaluation of relationship between rootstocks and yield and quality in grafting tomato [J]. *Chin Agric Sci*, 2014, **47**(3): 605 – 612.
- [9] 张传伟, 宋述尧, 赵春波, 等. 不同品种番茄营养品质分析与评价[J]. 中国蔬菜, 2011, **9**(18): 68 – 73.
ZHANG Chuanwei, SONG Shuyao, ZHAO Chunbo, *et al.* Analysis and assessment on nutritional quality of different tomato varieties [J]. *Chin Veg*, 2011, **9**(18): 68 – 73.
- [10] 唐霖, 殷红军, 斯聪聪, 等. HPLC 测定不同产地玛咖中苯基芥子油苷的含量[J]. 中国中药杂志, 2015, **40**(23): 4541 – 4544.
TANG Lin, YIN Hongjun, SI Congcong, *et al.* Determination of benzyl glucosinolate in *Lepidium meyenii* from different regions by HPLC [J]. *China J Chin Mater Med*, 2015, **40**(23): 4541 – 4544.
- [11] 刘海英, 王华华, 崔长海, 等. 可溶性糖含量测定(蒽酮法)实验的改进[J]. 实验室科学, 2013, **16**(2): 19 – 20.
LIU Haiying, WANG Huahua, CUI Changhai, *et al.* Experiment improvement of the soluble sugar content determination by anthrone colorimetric method [J]. *Lab Sci*, 2013, **16**(2): 19 – 20.
- [12] 廖永翠, 宋明, 王辉, 等. 大白菜中硫代葡萄糖苷的鉴定及含量分析[J]. 园艺学报, 2011, **38**(5): 963 – 969.
LIAO Yongcui, SONG Ming, WANG Hui, *et al.* Glucosinolate profile and accumulation in *Brassica campestris* L. ssp. *pekinensis* [J]. *Acta Horti Sin*, 2011, **38**(5): 963 – 969.
- [13] 李国树, 文美琼, 魏朔. 云南 5 种野生蔬菜维生素 C 含量的测定及比较[J]. 楚雄师范学院学报, 2009, **24**(3): 57 – 63.
LI Guoshu, WEN Meiqiong, WEI Shuo. Determination of vitamin C contents in five kinds of wild vegetable from Yunnan [J]. *J Chuxiong Norm Univ*, 2009, **24**(3): 57 – 63.
- [14] 武立叶, 郑佩佩, 赵吉祥, 等. 沼液灌溉对大白菜产量、品质及土壤养分含量的影响[J]. 中国沼气, 2014, **32**(3): 90 – 93.
WU Liye, ZHENG Peipei, ZHAO Jixiang, *et al.* The effect of biogas slurry irrigation on Chinese cabbage *Beassica pekinensis* L. and the soil quality [J]. *China Biogas*, 2014, **32**(3): 90 – 93.
- [15] 韩冬芳, 王德汉, 黄培钊, 等. 不同形态镁对‘早熟 5 号’大白菜产量及品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, **37**(10): 1655 – 1660.
HAN Dongfang, WANG Dehan, HUANG Peizhao, *et al.* Effects of different morphology magnesium on yield and quality of ‘Zaoshu 5’ Chinese cabbage [J]. *Acta Horti Sin*, 2010, **37**(10): 1655 – 1660.
- [16] 张鲁刚, 惠麦侠, 张明科. 彩色大白菜新品种“金冠 2 号”的选育[J]. 西北农业学报, 2007, **89**(1): 204 – 206.
ZHANG Lugang, HUI Maixia, ZHANG Mingke. Breeding of a new hybrid F1 of orange-heading Chinese cabbage-‘Jinguan No.2’ [J]. *Acta Agric Boreal-Occident Sin*, 2007, **89**(1): 204 – 206.

- [17] 张耀伟. 大白菜新品种东农 907 的选育[J]. 中国蔬菜, 2007, **46**(11): 35 – 36.
ZHANG Yaowei. A new Chinese cabbage F1 hybrid: ‘Dongnong 907’ [J]. *Chin Veg*, 2007, **46**(11): 35 – 36.
- [18] GONG Zhenping, YU Shuancang, ZHANG Fenglan. Evaluation of Chinese cabbage sensory quality and its relationship with contents of main nutrient components [J]. *Agric Sci Technol*, 2016, **17**(7): 1592 – 1596.
- [19] 吴春燕, 何启伟, 宋廷宇, 等. 大白菜风味品质评价指标的筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, **40**(9): 161 – 168.
WU Chunyan, HE Qiwei, SONG Tingyu, *et al.* Selection of evaluation index in flavor quality of Chinese cabbage [J]. *J Northwest A&F Univ Nat Sci Ed*, 2012, **40**(9): 161 – 168.
- [20] 乔宏宇, 朱芳, 栗长兰, 等. 黄瓜主要营养品质性状遗传分析[J]. 东北农业大学学报, 2005, **36**(3): 290 – 293.
QIAO Hongyu, ZHU Fang, LI Changlan, *et al.* Inherited analysis on nutrient quality character of cucumber [J]. *J Northeast Agric Univ*, 2005, **36**(3): 290 – 293.
- [21] 李晓锋, 朱玉英, 侯瑞贤, 等. 夏季高温对大白菜不同发育期生化特性的影响研究[J]. 上海农业学报, 2008, **24**(1): 36 – 39.
LI Xiaofeng, ZHU Yuying, HOU Ruixian, *et al.* Effects of summer high temperature on the biochemical characters of Chinese cabbage at different developmental stages [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2008, **24**(1): 36 – 39.
- [22] 姚庆群, 白昌军, 王文强, 等. 不同统计方法对豆科牧草种质资源适应性评价的比较[J]. 亚热带植物科学, 2009, **38**(1): 26 – 30.
YAO Qingqun, BAI Changjun, WANG Wenqiang, *et al.* Different statistical methods for comprehensive evaluation of Legume germplasms [J]. *Subtropic Plant Sci*, 2009, **38**(1): 26 – 30.
- [23] 盛业龙, 王莎莎, 许美玲, 等. 应用隶属函数法综合评价不同烤烟品种苗期抗旱性[J]. 南方农业学报, 2014, **45**(10): 1751 – 1758.
SHENG Yelong, WANG Shasha, XU Meiling, *et al.* Comprehensive evaluation on drought resistance of flue-cured tobacco varieties at seedling stage by subordinate function values analysis [J]. *J Southern Agric*, 2014, **45**(10): 1751 – 1758.
- [24] 陈平, 姜涛, 喻春明, 等. 应用隶属函数法评价 33 个苧麻资源的营养品质[J]. 湖北农业科学, 2015, **54**(10): 2435 – 2438.
CHEN Ping, JIANG Tao, YU Chunming, *et al.* Comprehensive evaluation on nutritive quality of 33 ramie varieties by subordinate function (SF) [J]. *Hubei Agric Sci*, 2015, **54**(10): 2435 – 2438.
- [25] 张彪, 毛娟, 陈佰鸿, 等. 葡萄抗寒性鉴定及综合评价方法研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, **49**(6): 64 – 69.
ZHANG Biao, MAO Juan, CHEN Baihong, *et al.* Identification method and comprehensive evaluation of cold resistance in grapevine [J]. *J Gansu Agric Univ*, 2014, **49**(6): 64 – 69.