



六个品种花椰菜花球的营养成分分析与评价

陈敏氩, 王彬, 李永平, 叶新如, 林锦辉, 曾美娟, 刘建汀, 朱海生, 温庆放

引用本文:

陈敏氩,王彬,李永平,叶新如,林锦辉,曾美娟,刘建汀,朱海生,温庆放. 六个品种花椰菜花球的营养成分分析与评价[J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(3): 349–356.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4471>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[基于表型性状和SSR标记的57份辣椒种质遗传多样性分析](#)

Genetic Diversity Analysis of 57 Germplasms of *Capsicum annuum* Based on Phenotypic Traits and SSR Markers

热带亚热带植物学报. 2020, 28(4): 356–366 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4185>

[自然越冬期姜花属植物生理指标变化及抗寒性评价](#)

Changes in Physiological Characteristics of Cold Resistance of *Hedychium* and Evaluation during Natural Overwintering Period

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 509–518 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4333>

[优良单株家系辣木叶的表型性状分析](#)

Analysis on Leaf Phenotypic Traits of Excellent Single Plant Family *Moranga oleifera*

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 185–191 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4096>

[米老排叶片营养成分与利用前景分析](#)

Nutritional Ingredients in Leaves of *Mytilaria laosensis* and Its Utilization Prospects

热带亚热带植物学报. 2021, 29(4): 367–373 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4324>

[南瓜5个品种果肉的挥发性成分分析](#)

Volatile Components in Flesh of Five Pumpkin Varieties

热带亚热带植物学报. 2020, 28(6): 633–643 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4226>

[向下翻页，浏览PDF全文](#)

六个品种花椰菜花球的营养成分分析与评价

陈敏氩¹, 王彬¹, 李永平¹, 叶新如¹, 林锦辉², 曾美娟¹, 刘建汀¹,
朱海生^{1*}, 温庆放^{1*}

(1. 福建省蔬菜遗传育种重点实验室, 福建省农业科学院作物研究所, 福州 350013; 2. 漳州市农业农村局, 福建 漳州 363000)

摘要: 为评价花椰菜(*Brassica oleracea* var. *botrytis*)的营养品质, 测定了6个品种花球的10项营养指标, 运用主成分分析和聚类分析方法对花椰菜品质进行综合评价。结果表明, 6个品种的10项品质指标均存在不同程度的差异, 变异幅度为12.22%~131.21%。维生素C(Vc)、总黄酮、总多酚、Fe、Ca、P、蛋白质含量间存在显著或极显著的关联性。系统聚类分析将6种花椰菜分为4类, 黄色花椰菜‘209’、‘100’和‘217’各为1类, 白色花椰菜‘210’、‘214’和‘218’聚为1类。主成分分析提取了花椰菜品质综合评价的3个主成分, 获得6个营养评价指标: Vc、总黄酮、总多酚、Fe、Ca和P。通过建立评价函数模型: $F=0.5591Z_1+0.2189Z_2+0.1669Z_3$, 筛选出‘209’花椰菜的营养品质最高。这为挖掘及选育优良花椰菜品种提供了科学依据。

关键词: 花椰菜; 营养成分; 相关性分析; 聚类分析; 主成分分析; 品质评价

doi: 10.11926/jtsb.4471

Nutrient Analysis and Evaluation of Six Cauliflower Varieties

CHEN Mindong¹, WANG Bin¹, LI Yongping¹, YE Xinru¹, LIN Jinhui², ZENG Meijuan¹,
LIU Jiangting¹, ZHU Haisheng^{1*}, WEN Qingfang^{1*}

(1. Fujian Key Laboratory of Vegetable Genetics and Breeding, Crops Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou 35001, China; 2. Zhangzhou Agricultural and Rural Bureau, Zhangzhou 363000, Fujian, China)

Abstract: In order to evaluate the nutritional quality of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), ten nutritional indexes in six varieties of cauliflower were determined, and the quality of cauliflower was comprehensively evaluated by principal component analysis and cluster analysis. The results showed that there were differences in ten quality indexes among six varieties, the variation coefficient ranged from 12.22% to 131.21%. The correlation analysis showed that there were significant correlations among vitamin C (Vc), total flavonoids, total polyphenols, Fe, Ca, P and protein. Six cauliflower varieties were divided into four categories by cluster analysis, i.e., three yellow cauliflower varieties ‘209’, ‘100’ and ‘217’ were each 1 class, and white cauliflower varieties ‘210’, ‘214’ and ‘218’ were into one class. Three principal components for comprehensive evaluation were extracted by principal component analysis, and six nutritional evaluation indexes were obtained, such as contents of Vc, total flavonoids, total polyphenols, Fe, Ca and P. Cauliflower ‘209’ had the highest nutritional quality by evaluation function model: $F=0.5591Z_1+0.2189Z_2+0.1669Z_3$. So, these would provide a scientific

收稿日期: 2021-06-23

接受日期: 2021-09-29

基金项目: 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2019R1031-7); 国家大宗蔬菜产业技术体系福州综合试验站项目(CARS-23-G-53); 福建省自然科学基金项目(2019J01112); 福建省现代蔬菜产业技术体系岗位专家项目(2018R1026-5); 福建省种业创新与产业化工程项目(zycxny2021009); 福建省农科院科技创新平台专项(CXPT202001); 福建省农科院蔬菜遗传育种科技创新团队项目(CXTD2021038)资助

This work was supported by the Project for Basic Research of Public Research Institute in Fujian (Grant No. 2019R1031-7); the Project of Fuzhou Comprehensive Test Station in National Vegetable Industry Technology System (Grant No. CARS-23-G-53); the Project for Natural Science in Fujian (Grant No. 2019J01112); the Project for Expert of Modern Vegetable Industry Technology System in Fujian (Grant No. 2018R1026-5); the Project for Seed Industry Innovation and Industrialization in Fujian (Grant No. zycxny2021009); the Project for Science and Technology Innovation Platform in Fujian Academy of Agricultural Sciences (Grant No. CXPT202001), and the Project for Vegetable Genetics and Breeding Science and Technology Innovation Team in Fujian Academy of Agricultural Sciences (Grant No. CXTD2021038).

作者简介: 陈敏氩, 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为蔬菜遗传育种。E-mail: 1053870789@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zhs0246@163.com; fjvrc@163.com

basis for excavating and breeding excellent cauliflower varieties.

Key words: *Brassica oleracea* var. *botrytis*; Nutrient composition; Correlation analysis; Cluster analysis; Principal component analysis; Quality evaluation

花椰菜(*Brassica oleracea* var. *botrytis*)又名花菜、菜花,为十字花科(Cruciferae)芸薹属作物。近年来,我国花椰菜生产发展迅速,2019年全国种植面积达 5.47×10^5 hm²,产量达 1.07×10^7 t,居于世界首位^[1]。花椰菜营养丰富,兼具保健功能。多项研讨指出,花椰菜富含类黄酮、多酚、胡萝卜素及维生素C(Vc)等多种抗氧化活性成分,长期食用能够减少罹患乳腺癌、直肠癌及胃癌的机率。因此,在美国《时代》杂志推荐的十大健康食品中花椰菜名列第四,并被美国公众利益科学中心列为十种超优食物之一^[2]。

花椰菜种类繁多,依据花球松紧度,可分为松花菜和紧花菜两类。依据花球颜色,又可分为白色花椰菜和彩色花椰菜两类。目前,我国常见的花椰菜类型为白色紧花型和白色松花型。白色紧花型花椰菜又叫白花菜,花球大,产量高,南北方各地均广泛种植。白色松花型花椰菜又叫松花菜,花梗长,花层薄,近几年在珠三角、江浙地区种植量大幅增加^[1]。研究表明,松花菜的营养物质含量高于紧花菜,但紧花菜品种间营养成分含量的变异程度低^[3]。彩色花椰菜包括紫色花椰菜、黄色花椰菜和淡绿色宝塔形花椰菜,是花椰菜的一个变种,19世纪中叶从国外引进,除了可作为商品销售外,还可供观赏。现有研究表明,彩色花椰菜的营养成分较白色花椰菜更高^[4]。马蓉等^[5]研究表明宝塔型花椰菜中Vc、总胡萝卜素及总黄酮含量明显高于白花菜、松花菜和青花菜。虽然,现阶段国内外对花椰菜的营养成分已有较多报道,但仍不够系统和深入,需进一步研究品质指标间的关系。

聚类分析和主成分分析是果蔬品质评价研究的重要手段^[6-8]。主成分分析可以将多个指标转化为少数几个综合指标,分析出特征性的营养指标,聚类分析能够将不同样品按其在品质上的亲疏程度进行分类^[9-10]。目前,在花椰菜上,这两种分析方法多应用于植株形态、株型等农艺性状及生理指标的研究中,而在营养物质含量分析方面的研究较少^[11-13]。袁建民等^[14]基于主成分分析和聚类分析评价了8个花椰菜种质中矿质元素的含量,筛选出Ca、S、B、Mn、Na和Cr元素可作为评价花椰菜花球营养品质的特征性矿质元素。朗朗等^[15]利用主成分

分析研究了花椰菜白色花球变紫前后的代谢物,认为芍药素-O-己糖苷、矢车菊素半乳糖苷和芍药素-3-O-葡萄糖甙氯化物与花球变紫的相关性较强,由此推测花椰菜白色花球变紫很可能与矢车菊合成途径密切相关。可见,聚类分析和主成分分析是研究、评价花椰菜品质的一种可行方法。然而目前,除白色花椰菜之外,尚未见其他类型花椰菜有类似的分析报道。本研究以6个品种白色、黄色花椰菜为试材,对花球中Vc、总黄酮、总多酚、脂肪、蛋白质、叶黄素、 β -胡萝卜素、Fe、Ca和P等10项营养指标进行测定,并采用相关分析、聚类分析和主成分分析等统计方法进行综合评价,明确不同品种之间的品质差异,为挖掘及选育优良花椰菜品种提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料和仪器

试验于2021年3—4月在福建省农业科学院作物研究所进行。供试材料由厦门中厦蔬菜种籽有限公司提供,6个花椰菜(*Brassica oleracea* var. *botrytis*)品种的花球、花梗颜色和松紧度不同(表1)。9月中旬穴盘播种育苗,10月下旬定植于塑料大棚,常规栽培管理。次年2月田间采集成熟期花球,每处理5株重复,3次重复。

叶黄素、 β -胡萝卜素、没食子酸、芦丁等标准品,纯度 $\geq 98\%$,购于美国Sigma公司;乙腈,甲醇为色谱纯;2,6-二氯靛酚溶液、福林酚、丙酮、石油醚、硝酸铝、氢氧化钠、乙醇、碳酸钠、无水醋酸钠等均为分析纯,均购于福州仓山九亿实验器材公司。

超高效液相色谱仪,购于美国WATERS公司;旋转蒸发器购于德国IKA公司;台式高速冷冻离心机购于美国Thermo公司;紫外分光光度计购于上海天美科学仪器有限公司;氮吹仪购于海能未来技术集团股份有限公司;数显恒温水浴锅购于上海一恒科技有限公司。

1.2 方法

Vc含量参照GB 5009.86—2016《食品中抗坏血酸的测定》中2,6-二氯靛酚滴定法测定;脂肪含

表1 供试的6个花椰菜品种

Table 1 Six cauliflower varieties tested

品种 Variety	花球颜色 Curd color	花梗颜色 Pedicel color	花球松紧度 Curd tightness
'209'	金黄色 Golden	浅绿色 Light green	松散 Loose
'100'	乳黄色 Creamy yellow	浅绿色 Light green	紧实 Tightness
'217'	浅金黄色 Light golden	浅绿色 Light green	松散 Loose
'214'	白色 White	浅绿色 Light green	半松散 Half loose
'218'	白色 White	浅绿色 Light green	紧实 Tightness
'210'	白色 White	白色 White	半松散 Half loose

量参照 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》中第一法索氏抽提法测定; 蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》测定; P 含量参照 GB 5009.87—2016《食品中磷的测定》测定; Ca 含量参照 GB 5009.92—2016《食品中钙的测定》; Fe 含量参照 GB 5009.90—2016《食品中铁的测定》第一法火焰原子吸收光谱法测定; 总黄酮含量参照郭淑等^[16]的方法测定, 以芦丁(RE)做标准曲线, 用紫外分光光度计在 510 nm 处测定吸光度, 以 mg/100 g 表示; 总多酚含量参照欧阳玉祝等^[17]的方法测定, 以没食子酸做标准曲线, 用紫外分光光度计在 765 nm 处测定吸光度, 以 mg/100 g 表示; 叶黄素和 β -胡萝卜素含量参照陈敏氢等^[18]的方法测定, 用丙酮: 石油醚(2:1)为浸提液, 采用 UPLC 法测定叶黄素和 β -胡萝卜素含量。

1.3 数据处理

所有数据用平均值 \pm 标准偏差(Mean \pm SD)表示。采用 Excel 建立数据库, 用 SPSS 18.0 软件进

行相关性分析、聚类分析和主成分分析。

2 结果和分析

2.1 主要营养成分含量分析

从表 2 可见, 不同花椰菜品种花球的营养成分含量存在差异。Vc 含量依次为'209'>'210'>'217'>'214'>'218'>'100'; 总黄酮含量为'209'>'217'>'214'>'210'>'218'>'100'; 总多酚含量为'209'>'214'>'218'>'217'>'210'>'100'; 脂肪含量为'209'>'100'>'214'>'210'>'218'>'217'; 蛋白质含量'209'>'214'>'218'>'210'>'100'>'217'; Fe 含量为'209'>'217'>'210'>'214'>'218'>'100'; Ca 含量为'209'>'210'>'217'>'218'>'214'>'100'; P 含量为'209'>'214'>'210'>'218'>'217'>'100'。叶黄素和 β -胡萝卜素仅在黄色花椰菜品种('209'、'100'、'217')中检出, 叶黄素含量为'100'>'209'>'217', β -胡萝卜素含量'209'>'100'>'217'。白色花椰菜品种('214'、'218'和'210')中未检出。

表2 6个花椰菜品种营养成分含量

Table 2 Nutrient contents of six cauliflower varieties

营养 Nutrient	品种 Variety						CV /%
	'209'	'100'	'217'	'214'	'218'	'210'	
Vc (mg/100 g)	112.12 \pm 6.26a	69.40 \pm 5.89c	86.63 \pm 6.32b	85.91 \pm 6.59b	70.05 \pm 5.05c	94.34 \pm 6.85b	18.53
总黄酮 (mg/100 g) Total flavonoid	160.12 \pm 5.49a	100.56 \pm 5.20b	150.33 \pm 6.29ab	140.04 \pm 5.33ab	101.52 \pm 4.15b	141.20 \pm 5.28ab	19.10
总多酚 (mg/100 g) Total polyphenol	360.10 \pm 8.28a	120.33 \pm 7.14c	210.50 \pm 7.27b	230.20 \pm 7.29b	220.07 \pm 6.25b	190.06 \pm 6.26b	35.28
脂肪 Fatty (g/100 g)	0.41 \pm 0.05a	0.40 \pm 0.07a	0.21 \pm 0.08b	0.32 \pm 0.05ab	0.31 \pm 0.07ab	0.30 \pm 0.08ab	22.59
蛋白质 Protein (g/100g)	1.88 \pm 0.29a	1.43 \pm 0.15ab	1.35 \pm 0.33b	1.82 \pm 0.20ab	1.72 \pm 0.38ab	1.56 \pm 0.29ab	13.18
叶黄素 Lutein (μ g/g)	0.76 \pm 0.11b	1.57 \pm 0.29a	0.75 \pm 0.19b	—	—	—	123.94
β -胡萝卜素 β -Carotene (μ g/g)	79.29 \pm 5.37a	39.69 \pm 3.20b	25.91 \pm 2.88c	—	—	—	131.41
Fe (mg/100 g)	0.89 \pm 0.12a	0.53 \pm 0.09c	0.80 \pm 0.12ab	0.70 \pm 0.10bc	0.61 \pm 0.09c	0.71 \pm 0.10bc	18.22
Ca (mg/100 g)	22.08 \pm 1.86a	13.33 \pm 1.04c	18.47 \pm 8.20bc	16.62 \pm 1.13bc	17.64 \pm 1.27bc	21.44 \pm 1.56a	17.68
P (mg/100g)	52.42 \pm 1.40a	37.41 \pm 1.55c	40.64 \pm 1.40bc	49.21 \pm 1.05ab	44.42 \pm 1.50bc	44.53 \pm 1.06bc	12.22

CV: 变异系数; 同行数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

CV: Variation coefficient; Different letters after peer data indicate significant differences at 0.05 level.

同时, β -胡萝卜素和叶黄素含量在不同品种间的变异程度最大, 分别为 131.41% 和 123.94%, P 最小, 为 12.22%。方差分析表明, 6 个花椰菜品种间的 Vc、总多酚、Fe、Ca、P、叶黄素和 β -胡萝卜素含量均达显著差异, ‘209’花椰菜的 Vc、总多酚和 β -胡萝卜素含量最高($P < 0.05$), ‘209’和‘217’花椰菜中 Fe 含量最高($P < 0.05$), ‘209’和‘210’花椰菜中 Ca 含量最高($P < 0.05$), ‘209’和‘214’花椰菜中 P 含量最高($P < 0.05$), ‘100’花椰菜中叶黄素含量最高($P < 0.05$), 说明这 7 项营养指标在不同花椰菜品种中存在着遗传变异。

表 3 花椰菜 10 个营养指标间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients among ten nutrient indexes of cauliflower

指标 Index	Vc	总黄酮 Total flavonoid	总多酚 Total polyphenol	脂肪 Fatty	蛋白质 Protein	叶黄素 Lutein	β -胡萝卜素 β -Carotene	Fe	Ca	P
Vc	1.000									
总黄酮 Total flavonoid	0.904*	1.000								
总多酚 Total polyphenol	0.806	0.677	1.000							
脂肪 Fatty	0.159	-0.204	0.217	1.000						
蛋白质 Protein	0.445	0.234	0.735	0.481	1.000					
叶黄素 Lutein	-0.137	-0.188	-0.253	0.411	-0.475	1.000				
β -胡萝卜素 β -Carotene	0.539	0.353	0.534	0.578	0.150	0.670	1.000			
Fe	0.907*	0.943**	0.838*	-0.148	0.325	-0.166	0.487	1.000		
Ca	0.845*	0.738	0.722	-0.111	0.373	-0.457	0.219	0.804	1.000	
P	0.737	0.600	0.886*	0.280	0.915*	-0.508	0.239	0.659	0.643	1.000

*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$

2.3 主成分分析

通过主成分分析得到各主成分的特征值、方差贡献率、累积方差贡献率和主成分载荷矩阵。结果表明, 前 3 个主成分的特征值分别为 5.59、2.19 和 1.67, 均大于 1, 其中第 1 主成分的特征值为 5.59, 方差贡献率为 55.91%, 第 2 主成分的特征值为 2.19, 方差贡献率为 21.89%, 第 3 主成分的特征值为 1.67, 方差贡献率为 16.69%, 累积方差贡献率为 94.48%, 说明这 3 个主成分反映了原始变量的绝大部分信息。因此, 提取前 3 个主成分代替原 10 个指标评价花椰菜品质, 达到了降维的目的。

主成分载荷矩阵反映了品质指标对主成分的影响程度和作用方向。由表 4 可知, 第 1 主成分中载荷较高且数值为正的指标有 Vc (0.94)、总黄酮 (0.84)、总多酚 (0.94)、Fe (0.91)、Ca (0.85) 和 P (0.89), 这 5 个指标对第 1 主成分产生较大的正向影响, 因此第 1 主成分代表 Vc、总黄酮、总多酚、Fe、Ca 和 P 含量。第 2 主成分中载荷较高且符号为正的指标有叶黄素 (0.87) 和 β -胡萝卜素 (0.85), 这 2

2.2 相关性分析

对花椰菜中 10 种营养指标进行相关性分析(表 3), 结果表明, 10 种营养指标间存在复杂的关联性, 其中 Vc、总黄酮、总多酚、Fe、Ca、P、蛋白质之间相关显著或极显著。Vc 与总黄酮、Fe、Ca 呈显著正相关; 总黄酮与 Fe 呈极显著正相关; 总多酚与 Fe、P 呈显著正相关; 蛋白质与 P 呈极显著正相关; 说明通过部分指标可以预测与之相关指标的增减趋势, 且相关性越强, 趋势越明显。然而, 简单相关性分析只是对有联系的 2 个营养指标表面关系密切程度的衡量, 揭示多个营养指标之间内在联系还需利用多元统计分析。

个指标对第 2 主成分产生较大的正向影响, 因此第 2 主成分代表叶黄素和 β -胡萝卜素含量。第 3 主成分中载荷较高且数值为正的指标是蛋白质 (0.74), 这 1 个指标对第 3 主成分产生较大的正向影响, 因此第 3 主成分代表蛋白质含量。由于第 1 主成分的累计贡献率为 55.91%, 超过总贡献率的一半, 因此认为, Vc、总黄酮、总多酚、Fe、Ca 和 P 可作为评价花椰菜花球品质的重要指标。

2.4 综合评价

为消除 10 种营养指标不同量纲和数量级对分析结果的影响, 使数据具有可比性, 需要对原始数据进行标准化处理。采用 Z 标准化处理, 将原始营养指标数据转化成均值为 0, 标准差为 1 的无量纲数据。用各指标变量的主成分载荷(表 4)除以主成分相对应的特征值开平方根, 得到 4 个主成分中每个指标所对应的系数即特征向量, 以特征向量为权重构建 3 个主成分的函数表达式: $Z_1 = 0.169X_1 + 0.150X_2 +$

表 4 主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component loading matrix

营养指标 Nutrient index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3
Vc	0.94	0.11	-0.21
总黄酮 Total flavonoids	0.84	-0.11	-0.45
总多酚 Total polyphenols	0.94	0.10	0.13
脂肪 Fatty	0.14	0.77	0.56
蛋白质 Protein	0.66	-0.01	0.74
叶黄素 Lutein	-0.32	0.87	-0.36
β -胡萝卜素 β -Carotene	0.46	0.85	-0.20
Fe	0.91	-0.03	-0.39
Ca	0.85	-0.25	-0.19
P	0.89	-0.09	0.42

$0.169X_3+0.026X_4+0.118X_5-0.057X_6+0.083X_7+0.163X_8+0.151X_9+0.159X_{10}$; $Z_2=0.050X_1-0.049X_2+0.045X_3+0.351X_4-0.004X_5+0.400X_6+0.389X_7-0.013X_8-0.116X_9-0.043X_{10}$; $Z_3=-0.127X_1-0.270X_2$

$0.078X_3+0.338X_4+0.445X_5-0.214X_6-0.121X_7-0.234X_8-0.112X_9+0.253X_{10}$; 式中, $X_1\sim X_{10}$ 分别为 Vc、总黄酮、总多酚、脂肪、蛋白质、叶黄素、 β -胡萝卜素、铁、钙、磷含量的标准化值(表 5)。

表 5 10 个营养指标的数据标准化值

Table 5 Standardized data for 10 quality evaluation indexes

指标 Index	品种 Variety					
	'209'	'100'	'217'	'214'	'218'	'210'
Vc	1.61	-1.06	0.01	-0.03	-1.02	0.50
总黄酮 Total flavonoids	1.10	-1.26	0.71	0.31	-1.22	0.35
总多酚 Total polyphenols	1.77	-1.30	-0.15	0.11	-0.02	-0.41
脂肪 Fatty	1.16	1.02	-1.57	-0.07	-0.20	-0.34
蛋白质 Protein	1.18	-0.92	-1.29	0.90	0.44	-0.31
叶黄素 Lutein	0.39	1.66	0.37	-0.81	-0.81	-0.81
β -胡萝卜素 β -Carotene	1.74	0.49	0.06	-0.76	-0.76	-0.76
Fe	1.42	-1.37	0.72	-0.05	-0.75	0.03
Ca	1.18	-1.53	0.06	-0.51	-0.19	0.98
P	1.40	-1.35	-0.76	0.81	-0.06	-0.04

按照公式 $F=\sum r_i \times Z_i$ 计算综合得分, 即以各个主成分对应的方差贡献率为权重, 由主成分得分和对应的权重线性加权求和得到综合得分。综合得分函数为 $F=0.5591Z_1+0.2189Z_2+0.1669Z_3$, 根据计算, 6 个花椰菜品种的综合得分依次为 '209' > '214' > '210' > '218' > '217' > '100' (表 6)。

2.5 聚类分析

基于 10 项营养指标对 6 种花椰菜品种进行聚类分析(图 1)。在欧氏距离约为 21 时, 10 种营养指标可将 6 个花椰菜品种划分为 4 类, 3 个黄色花椰菜 '209'、'100' 和 '217' 各为一类, 3 个白色花椰菜 '210'、'214' 和 '218' 聚为一类。结合主成分分析综

表 6 花椰菜品种的主成分因子综合得分和排序

Table 6 Comprehensive score and rank of cauliflower varieties based on principal component factors

品种 Variety	Z_1	Z_2	Z_3	F	排序 Rank
'209'	1.658	1.123	0.150	1.198	1
'100'	-1.392	1.420	0.047	-0.460	6
'217'	-0.117	-0.400	-1.763	-0.447	5
'214'	0.191	-0.634	0.847	0.109	2
'218'	-0.491	-0.649	1.027	-0.245	4
'210'	0.151	-0.860	-0.307	-0.155	3

合得分可知, 3 个黄色花椰菜品质差异较大, ‘209’的品质最佳, 其营养成分 Vc、总多酚、总黄酮、蛋白质、脂肪、Fe、Ca、P 和 β -胡萝卜素含量高; ‘100’的品质最差, 其叶黄素含量高, 但 Vc、总多酚、总黄酮、Fe、Ca、P 含量低; ‘217’的品质较差, 其脂肪和蛋白质含量低; ‘210’、‘214’和‘218’的排名居中, 营养成分相近。可见, 聚类分析与主成分分析结果一致, 可信度较高。

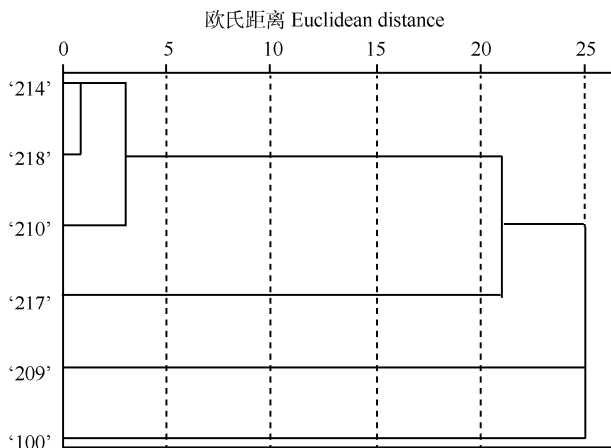


图1 聚类分析系统树

Fig. 1 Dendrogram by cluster analysis

3 结论和讨论

本研究测定了花椰菜 6 个品种的主要营养成分含量, 结果表明, 花椰菜富含 Vc、总黄酮、总多酚等生物活性物质。果蔬中的 Vc 含量一般为 20~50 mg/100 g。杨月欣等^[19]测定了 226 种蔬菜的 Vc 含量, 只有 22 种蔬菜的 Vc 含量高于 50 mg/100 g, 而高于 100 mg/100 g 的只有 3 种。供试的 6 个花椰菜品种的 Vc 含量都高于 50 mg/100 g, 其中‘209’花椰菜的 Vc 含量高达 112 mg/100 g。可见, 花椰菜是 Vc 的极好来源。陈玉霞等^[20]测定了 25 种常见蔬菜的总多酚和总黄酮含量, 结果表明大部分蔬菜的总多酚和总黄酮含量低于 100 mg/100 g, 而本研究的 6 个花椰菜品种的总多酚含量为 120~264 mg/100 g, 超过了其中 21 种蔬菜, 总黄酮含量为 102~160 mg/100 g, 超过了其中 23 种蔬菜。与已报道的白、黄色花椰菜品种相比, 供试花椰菜品种中的总黄酮和总多酚含量皆高出 2~3 倍, 显现出明显的优势^[4,21-22]。此外, 在黄色花椰菜品种‘209’、‘100’和‘217’还检出叶黄素和 β -胡萝卜素成分, 且 β -胡萝卜素含量与花

球颜色呈显著正相关, 这与前人^[23-24]的研究结果一致, 推测 β -胡萝卜素可能参与花椰菜黄色花球的着色过程。总而言之, 生物活性物质是评价花椰菜营养品质的重要指标, 花椰菜可作为 Vc、总黄酮、总多酚和类胡萝卜素等生物活性物质的良好来源。

6 个花椰菜品种的营养成分含量存在一定差异, 变异系数为 13.18%~131.21%, 属于中强变异。杨加付等^[25]分析了花椰菜营养品质性状的遗传效应, 认为花椰菜中的营养品质性状主要受自身基因型与外部环境的影响。本研究的供试花椰菜花球样品均来自同一温室大棚, 立地条件、管理模式等均一致, 可以消除环境因子的影响, 因此, 推测本研究中花椰菜品种间营养成分的差异可能来源于基因型。供试的 6 种花椰菜包含了黄色、白色、松花和紫花 4 个类型, 方差分析表明, 不同类型的花椰菜品种间的营养品质差别较大, 其中 3 个黄色品种间的营养品质差别明显, 说明黄色花椰菜的营养变异更为丰富, 类型广泛。杨加付等^[26]认为花椰菜花球的外观品质会明显影响其营养品质性状, 增大球径或球高对提高花椰菜品种的 Vc 含量有利。因此, 供试 6 个花椰菜品种的品质差异可能也与其外观品质有关。未来有必要深入研究外观性状与营养品质之间的遗传相关性。因为外观品质是容易直接鉴定的性状, 在育种中, 我们可以通过选择外观品质性状来改良营养品质性状, 进一步育成符合育种目标的优质品种。

采用主成分分析法将花椰菜 10 项营养指标降维为 3 个综合指标, 简化了数据结构, 评价结果更为客观、合理。建立综合评价函数模型: $F=0.5591Z_1+0.2189Z_2+0.1669Z_3$, 综合得分排在前 2 位的花椰菜品种分别为‘209’和‘214’。结合花椰菜类型可知, 松花型的综合品质基本高于紫花型, 这与丁云花等^[3]的研究结果一致, 可见主成分分析法是评价花椰菜营养品质的一种可行方法。利用聚类分析方法可将 6 个花椰菜品种划分为 4 类, 3 个黄色花球花椰菜‘209’、‘100’和‘217’各为一类, 3 个白色花球花椰菜‘210’、‘214’和‘218’聚为一类, 与主成分分析综合排名情况相符。这表明聚类结果科学有效, 该方法可用于花椰菜的品质分析。但由于本研究只测定了 6 个花椰菜品种, 涵盖的品种数量和类型不够, 因此后续仍需加大该方法在花椰菜品质分析上的应用, 从而进一步验证方法的准确性。

综上, 6 个花椰菜中富含 Vc、总黄酮、总多酚、

Fe、Ca 和 P 等营养成分, 各营养成分间存在一定的相关性。不同品种花椰菜的营养成分存在着丰富的遗传变异。通过运用主成分分析与聚类分析方法, 将 6 个花椰菜品种分为 4 类, 综合评价筛选出‘209’品质最佳, 可作为候选株系, 在今后研究中可以结合其丰产性、抗逆性等指标进一步筛选, 创制出更加优良的花椰菜品种。

参考文献

- [1] MENG Q F, WANG J, GAO T Y, et al. Nutritional value of cauliflower and its industry profile and development trend [J]. Ningbo Agric Sci Technol, 2020(2): 24–25.
孟秋峰, 王洁, 高天一, 等. 花椰菜营养价值及其产业简况与发展趋势 [J]. 宁波农业科技, 2020(2): 24–25.
- [2] XU Y H. The nutritional value and health function of cauliflower [J]. Food Ind, 2018(4): 94–95. doi: 10.3969/j.issn.2095-638X.2018.04.060.
徐玉红. 花椰菜的营养价值及保健作用 [J]. 食品界, 2018(4): 94–95. doi: 10.3969/j.issn.2095-638X.2018.04.060.
- [3] DING Y H, HE H J, ZHAO X Z, et al. Analysis of major nutritional quality of different types of cauliflower varieties [J]. Chin Veg, 2016, 1(4): 58–63. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2016.04.017.
丁云花, 何洪巨, 赵学志, 等. 不同类型花椰菜主要营养成分分析 [J]. 中国蔬菜, 2016(4): 58–63. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2016.04.017.
- [4] HUANG S H, ZHAO Y P. Comparative experiment of spring sight-seeing and picking cauliflower varieties in Beijing [J]. Seed World, 2015(3): 23–25. doi: 10.3969/j.issn.1000-8071.2015.03.014.
黄少虹, 赵彦鹏. 北京地区春季观光采摘型花椰菜品种比较试验 [J]. 种子世界, 2015(3): 23–25. doi: 10.3969/j.issn.1000-8071.2015.03.014.
- [5] MA R, LIANG Y, WANG S L, et al. Differences of nutrients among different species of *Brassica oleracea* L. var. and effects of cooking on their contents [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(7): 7–12. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.002.
马蓉, 梁颖, 王树林, 等. 花椰菜不同品种类型间营养成分差异及烹饪对其含量的影响 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 7–12. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.07.002.
- [6] TAN Q J, CHEN H S, WEI Y R, et al. Nutritional analysis and evaluation of kernel of *Macadamia integrifolia* [J]. J Chin Cereal Oils Ass, 2021, 36(2): 150–154. doi: 10.3969/j.issn.1003-0174.2021.02.025.
谭秋锦, 陈海生, 韦媛荣, 等. 澳洲坚果种质果仁主要营养成分分析与评价 [J]. 中国粮油学报, 2021, 36(2): 150–154. doi: 10.3969/j.issn.1003-0174.2021.02.025.
- [7] CHENG T T, HUI X H, SHANG X X, et al. Nutrient composition analysis and quality comprehensive evaluation of lotus root in 10 producing areas [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(8): 320–325. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060110.
程婷婷, 惠小涵, 尚欣欣, 等. 10 个产地莲藕营养成分分析与品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 320–325. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020060110.
- [8] HUANG Y, WU T, CAO W W, et al. Evaluation of nutrition and sensory quality of flowering Chinese cabbage based on principal component and cluster analysis [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(17): 253–258. doi: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023740.
黄颖, 吴婷, 曹伟伟, 等. 基于主成分和聚类分析的油菜薹营养与感官品质评价 [J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(17): 253–258. doi: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.023740.
- [9] YAN M, CHEN X, WANG T T, et al. Analysis on nutrient composition of seven species of Russulaceae in Yunnan Province [J]. Edib Fungi China, 2019, 38(5): 32–38. doi: 10.13629/j.cnki.53-1054.2019.05.009.
严明, 陈旭, 王婷婷, 等. 云南 7 种红菇科野生食用菌营养成分分析 [J]. 中国食用菌, 2019, 38(5): 32–38. doi: 10.13629/j.cnki.53-1054.2019.05.009.
- [10] WANG Y M, ZHANG K, XU F H, et al. Chemical analysis and nutritional evaluation of different varieties of goji berries (*Lycium barbarum* L.) [J]. Food Sci, 2014, 35(1): 34–38. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201401007.
王益民, 张珂, 许飞华, 等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价 [J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34–38. doi: 10.7506/spkx1002-6630-201401007.
- [11] ZHU S Y, ZHANG X L, LIU Q, et al. Principal component analysis and cluster analysis for main morphological characteristics of cauliflower inbred lines [J]. J Plant Genet Resour, 2012, 13(1): 77–82. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2012.01.013.
朱世杨, 张小玲, 刘庆, 等. 花椰菜自交系主要形态性状的主成分分析和聚类分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1): 77–82. doi: 10.3969/j.issn.1672-1810.2012.01.013.
- [12] XU X L, HE H Y, HUANG C C, et al. Principal component and correlation analyses on plant characters of Chongming Cauliflower [J]. Acta Agric Shanghai, 2013, 29(3): 89–91. doi: 10.3969/j.issn.1000-3924.2013.03.022.
徐兴良, 何欢宇, 黄成超, 等. 崇明花椰菜株型性状主成分与相关分析 [J]. 上海农业学报, 2013, 29(3): 89–91. doi: 10.3969/j.issn.1000-3924.2013.03.022.
- [13] ZHU C H, ZHONG K Q, LIN H F, et al. Heat tolerance of seventeen

- cauliflower genotypes [J]. *Fujian J Agric Sci*, 2011, 26(5): 769–773. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2011.05.018.
- 朱朝辉, 钟开勤, 林翻飞, 等. 不同基因型花椰菜苗期耐热性指标筛选及综合评价 [J]. *福建农业学报*, 2011, 26(5): 769–773. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2011.05.018.
- [14] YUAN J M, HE L, MU W F, et al. Evaluation of mineral element contents in cauliflower germplasm based on factor analysis and cluster analysis [J]. *Chin J Trop Agric*, 2020, 40(7): 66–74. doi: 10.12008/j.issn.1009-2196.2020.07.011.
- 袁建民, 何璐, 木万福, 等. 基于因子分析和聚类分析的花椰菜种质矿质元素含量评价 [J]. *热带农业科学*, 2020, 40(7): 66–74. doi: 10.12008/j.issn.1009-2196.2020.07.011.
- [15] LANG L, NIU G B, SHAH X Z, et al. Determination of metabolites and principal component analysis of purplish curd in white cauliflower [J]. *Chin Cucurbits Veg*, 2021, 34(4): 57–61. doi: 10.3969/j.issn.1673-2871.2021.04.010.
- 郎朗, 牛国保, 单晓政, 等. 花椰菜白色花球变紫代谢物的测定及主成分分析 [J]. *中国瓜菜*, 2021, 34(4): 57–61. doi: 10.3969/j.issn.1673-2871.2021.04.010.
- [16] GUO X, TIAN S, WANG W T, et al. Study on the extraction technology of total flavones from okra flowers by response surface methodology [J]. *China Food Addit*, 2016(2): 89–95. doi: 10.3969/j.issn.1006-2513.2016.02.009.
- 郭淑, 田硕, 王维婷, 等. 响应曲面法优化黄秋葵总黄酮的提取工艺 [J]. *中国食品添加剂*, 2016(2): 89–95. doi: 10.3969/j.issn.1006-2513.2016.02.009.
- [17] OUYANG Y Z, CHEN X D, TANG H Y, et al. Extraction and separation of total polyphenols from *Herba gei* [J]. *Food Sci*, 2009, 30(16): 44–47. doi: 10.3321/j.issn:1002-6630.2009.16.003.
- 欧阳玉祝, 陈小东, 唐红玉, 等. 路边青中总多酚的提取与分离研究 [J]. *食品科学*, 2009, 30(16): 44–47. doi: 10.3321/j.issn:1002-6630.2009.16.003.
- [18] CHEN M D, ZHU H S, WEN Q F, et al. Determination of carotenoids in strawberry by UPLC [J]. *J Fruit Sci*, 2013, 30(4): 706–711. doi: 10.13925/j.cnki.gsxb.2013.04.033.
- 陈敏敏, 朱海生, 温庆放, 等. UPLC 测定草莓果实中类胡萝卜素含量 [J]. *果树学报*, 2013, 30(4): 706–711. doi: 10.13925/j.cnki.gsxb.2013.04.033.
- [19] YANG Y X. *China Food Composition 2004* [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2005: 91–99.
- 杨月欣. *中国食物成分表 2004* [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005: 91–99.
- [20] CHEN Y X, GUO C J, YANG J J, et al. The antioxidant capacity of common 25 vegetables: A comparative study [J]. *J Henan Univ Technol (Nat Sci)*, 2007, 28(5): 37–41. doi: 10.3969/j.issn.1673-2383.2007.05.010.
- 陈玉霞, 郭长江, 杨继军, 等. 常见 25 种蔬菜抗氧化活性的比较研究 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(5): 37–41. doi: 10.3969/j.issn.1673-2383.2007.05.010.
- [21] MA G S. Cauliflower is different in color and nutrition [J]. *China Food*, 2018(2): 158–159. doi: 10.3969/j.issn.1000-1085.2018.02.069.
- 马冠生. 菜花颜色多营养大不同 [J]. *中国食品*, 2018(2): 158–159. doi: 10.3969/j.issn.1000-1085.2018.02.069.
- [22] GUAN W Q, ZHANG Y, LIU L L, et al. Primary study on antioxidant compounds and pigments during floret development of cauliflower with different color [J]. *Acta Agric Boreal Sin*, 2013, 28(6): 186–191. doi: 10.7668/hbxb.2013.06.032.
- 关文强, 张怡, 刘莉莉, 等. 不同颜色菜花生长过程中抗氧化活性与成分的变化研究 [J]. *华北农学报*, 2013, 28(6): 186–191. doi: 10.7668/hbxb.2013.06.032.
- [23] MEN X. Analysis of the action mechanism of *or* gene in cauliflower and *Arabidopsis* [D]. Nanjing: Nanjing University, 2011: 3–5.
- 门潇. 花椰菜和拟南芥中 *or* 基因作用机理的分析 [D]. 南京: 南京大学, 2011: 3–5.
- [24] LI L, PAOLILLO D J, PARTHASARATHY M V, et al. A novel gene mutation that confers abnormal patterns of β -carotene accumulation in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) [J]. *Plant J*, 2001, 26(1): 59–67. doi: 10.1046/J.1365-313X.2001.01008.X.
- [25] YANG J F, RAO L B, GU H H. Genetic effect of nutrient and quality traits in cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) [J]. *J Zhejiang Agric Sci*, 2005(4): 252–254. doi: 10.3969/j.issn.0528-9017.2005.04.005.
- 杨加付, 饶立兵, 顾宏辉. 花椰菜营养品质性状的遗传效应分析 [J]. *浙江农业科学*, 2005(4): 252–254. doi: 10.3969/j.issn.0528-9017.2005.04.005.
- [26] YANG J F, RAO L B, JIN S J. Genetic correlation analysis of exterior and nutrient quality traits of head in cauliflower [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2003, 31(5): 729–730. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2003.05.012.
- 杨加付, 饶立兵, 金素静. 花椰菜花球外观和营养品质性状的遗传相关分析 [J]. *安徽农业科学*, 2003, 31(5): 729–730. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2003.05.012.