

刘珍,王璐,曹璐磊,等.不同品种大丽花花瓣营养及活性成分分析和评价[J].食品工业科技,2023,44(17):288-296. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090015

LIU Zhen, WANG Lu, CAO Lulei, et al. Analysis and Evaluation of Nutrient Components in Petals of Different Dahlia Varieties[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(17): 288-296. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090015

· 分析检测 ·

不同品种大丽花花瓣营养及活性成分 分析和评价

刘 珍¹,王 璐¹,曹璐磊¹,牛善策^{1,2},向地英¹,陈段芬¹,尉文彬^{3,*},郝丽红^{1,*}

(1.河北农业大学园艺学院,河北保定 071001;

2.河北农业大学华北作物改良与调控国家重点实验室,河北保定 071001;

3.张家口市农业科学院,河北张家口 075000)

摘 要:为比较大丽花各品种间营养品质的差异,筛选出营养品质优良的品种,进一步为大丽花的资源评价及开发利用奠定基础,本文选取了 36 个大丽花品种,对盛花期花瓣的可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C、有机酸、花青素、总酚、类黄酮及 DPPH 自由基清除率进行测定,并对各指标间的相关性进行分析,同时用主成分分析法和聚类分析法对各品种的营养品质进行综合分析。结果表明,大丽花不同品种间各成分含量存在一定差异,其中维生素 C 含量变异系数最高,为 51.94%,有机酸含量变异系数最小为 7.92%。不同品种大丽花可溶性糖含量为 6.95~15.57 mg/g、可溶性蛋白含量为 0.96~2.01 mg/g、维生素 C 含量为 1.20~151.37 mg/100 g、有机酸含量为 0.38%~1.10%,活性物质总酚含量在 0.19~0.25 mg/g 之间,花青素含量为 0.61~2.51 mg/g,类黄酮含量范围为 0.54~4.81 mg/g, DPPH 自由基清除率在 0.12%~0.67% 之间。相关性分析结果表明测定的 8 个指标间均存在不同程度的相关性。通过主成分分析提取出 5 个主成分,累计方差贡献率达到 81.399%,可较好反映出大丽花营养成分的综合信息,同时综合分析得出可溶性糖、维生素 C、花青素、有机酸、类黄酮和 DPPH 自由基清除率可作为评价大丽花营养品质的核心指标。对 36 种大丽花进行聚类分析,划分为 5 类,并结合主成分分析结果发现 YH-C7 和 YH-C4 的营养品质最好。

关键词:大丽花,花瓣,基本营养成分,活性物质,综合评价

中图分类号:S682.2

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)17-0288-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022090015



本文网刊:

Analysis and Evaluation of Nutrient Components in Petals of Different Dahlia Varieties

LIU Zhen¹, WANG Lu¹, CAO Lulei¹, NIU Shance^{1,2}, XIANG Diying¹, CHEN Duanfen¹,
YU Wenbin^{3,*}, HAO Lihong^{1,*}

(1.College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

2.State Key Laboratory of Crop Improvement and Regulation, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China;

3.Zhangjiakou Academy of Agricultural Sciences, Zhangjiakou 075000, China)

Abstract: Comparison of differences in the nutritional quality of different dahlia varieties could facilitate the selection of varieties with excellent nutritional quality. This would provide a basis for the resource evaluation and deployment of dahlia. In this study, this study determined the nutrition components in petals of 36 dahlia varieties at the complete flowering stage

收稿日期: 2022-09-05

基金项目:河北省重点研发计划项目-大丽花属植物种质资源收集创新及良种繁育关键技术研究(20326814D);河北省生物农业联合基金培育项目-菊粉合成关键酶及其编码基因对大丽花菊粉合成的调控机理研究(C202204240)。

作者简介:刘珍(1996-),女,硕士,研究方向:观赏植物资源评价利用,E-mail: 1773681934@qq.com。

*** 通信作者:**尉文彬(1981-),男,硕士,高级工程师,研究方向:园林植物引种优选利用研究,E-mail: zjkywb@126.com。

郝丽红(1986-),女,博士,讲师,研究方向:观赏植物栽培繁育及评价利用,E-mail: yyhlh@hebau.edu.cn。

including soluble sugar, soluble protein, vitamin C, organic acid, anthocyanin, total phenol, flavonoid, and DPPH free radical scavenging rate. This study also examined the correlation between these indexes. In addition, the nutritional quality indexes of each variety were comprehensively analyzed using principal component analysis and cluster analysis. This study revealed that many Dahlia cultivars had significant differences in component content. The coefficient of variation of vitamin C content and coefficient of variation of organic acid content was the highest (51.94%) and the lowest (7.92%), respectively. The contents of soluble sugar, soluble protein, vitamin C, and organic acid in different varieties of dahlia ranged from 6.95 to 15.57 mg/g, 0.96 to 2.01 mg/g, 1.20 to 151.37 mg/100 g, and 0.38% to 1.10%, respectively. The total phenol content and anthocyanin content of active substances were 0.19 to 0.25 mg/g and 0.61 to 2.51 mg/g, respectively. The flavonoid content was 0.54 to 4.81 mg/g and the DPPH free radical scavenging rate was 0.12% to 0.67%. The correlation analysis showed that the eight indexes were largely correlated. Principal component analysis was used to extract five principal components and the cumulative variance contribution rate reached 81.39%. These findings suggested that a detailed analysis of soluble sugar, vitamin C, anthocyanin, organic acids, flavonoids, and DPPH free radical scavenging rate can be used as core indicators to evaluate the nutritional quality of dahlia. According to cluster analysis, 36 dahlia varieties can be grouped into five categories. This study shows that YH-C7 and YH-C4 had the best nutritional quality.

Key words: *Dahlia pinnata*; petals; basic nutrients; active substance; comprehensive assessment

大丽花(*Dahlia pinnata*)是菊科(Compositae)大丽花属的多年生球根植物,别名天竺牡丹、西番莲、大理菊等,原产于墨西哥、危地马拉和哥伦比亚一带,是墨西哥的国花^[1],张家口的市花,具有较高的观赏、药用和食用价值。

大丽花花色多样,花型丰富^[2],可用于生产切花,是盆栽植物和花园设计的主要元素^[3],除了观赏价值外大丽花花瓣还具有营养和功能特性^[4],因其存在大量对人体健康有益的生物活性化合物而在国外大受欢迎^[5],大丽花花瓣可以生食用于制作沙拉也可以药用,据《中华本草》记载,大丽花花瓣含有大量黄酮类成分,有清热解毒、散瘀止痛的功效,主治腮腺炎、龋齿疼痛、无名肿毒、跌打损伤等疾病^[6],大丽花花瓣还是类黄酮和花色素苷的优良来源^[7]。随着食用花卉的兴起,一些学者对大丽花花瓣的营养成分和应用进行了相关研究。Lara-Cortés 等^[8]分析了 6 个大丽花品种的基本成分、矿物质、维生素 C、酚类化合物、总花青素、类胡萝卜素和抗氧化活性,得出其含有大量的酚类成分和类胡萝卜素的结论,具有很高的营养价值。Pires 等^[9]测定了四种不同的花卉样品的酚类成分及其生物活性潜力,而大丽花表现出较优的抗氧化能力。Espejel 等^[10]对 5 种野生大丽花舌状花的理化性质、抗氧化能力和营养价值做了系统研究,得出其含有高浓度的生物活性化合物和营养成分,对健康有益,可以作为新鲜产品食用。

以上研究为大丽花的食用、药用开发提供了初步的方向,但是目前还缺乏对国内外不同品系及农家种中的不同品种进行营养品质的综合评价,本底情况还不清楚,而同科中的菊花^[11](*Dendranthema morifolium*)、雪莲花^[12](*Saussureainvolucrata*)和金盏花^[13](*Calendula officinalis*)等植物已在营养及活性成分分析方面取得了一定的进展,并进行了商业化的开发利用,这也为进一步研究大丽花花瓣的营养成分并进行开发应用奠定了基础。本试验以巨花系列、大花中花系列、梦幻系列、金刚系列、葫芦娃系列、诺娃

诱惑系列和农家种系列的大丽花花瓣为研究对象,以营养物质和活性成分作为评价指标,通过相关性分析、主成分分析和聚类分析比较各品种间营养品质的差异,以期筛选出营养品质较为优良的品种,从而为大丽花的资源评价及开发应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

试验材料 均为张家口市农科院花卉所引种栽培到其实验基地的不同品种大丽花,品种信息见表 1,其中来自国内甘肃地区的农家种有 3 个,分别为 GS-V2, GS-V5 和 GS-V7,来自国内山东地区的有 1 个,为 SD-C2,其余 32 个全为市场上售卖流通的不同品系的商业品种;乙醇、甲醇、硫酸、高氯酸 国药集团化学试剂有限公司;DPPH 自由基清除能力试剂盒 南京建成生物工程研究所;其它试剂均为分析纯。

U-5100 型紫外可见分光光度计 天美(中国)科学仪器有限公司;DZKW-4 电子恒温水浴锅 北京中兴伟业仪器有限公司;AX224ZH/E 电子分析天平 奥豪斯仪器(常州)有限公司;A11 高速冷冻研磨机 德国 IKA 集团。

1.2 实验方法

1.2.1 样品预处理 在盛花期(植株 50% 以上的花序开放的时期)进行取样,根据不同系列、花色、花型和花朵大小等形态指标选定 36 个品种,对选定的每个品种随机选取 20 枝花,去除花萼、花托、雌雄蕊等部位,只留花瓣,用蒸馏水冲洗干净,再用吸水纸吸干花瓣表面的水分,将其剪碎后混匀,用锡箔纸包裹,放入液氮中处理 30 min,然后存于-80 ℃ 超低温冰箱中备用。大丽花鲜样采用研磨机液氮研磨均匀至无可见样品块,称取研磨样品用于后续营养成分提取及检测。

1.2.2 营养成分测定 可溶性蛋白含量的测定参照李玲^[14]的考马斯亮蓝法,可溶性糖含量的测定参考李合生^[15]的蒽酮比色法,维生素 C 含量的测定采用

表 1 36 个大丽花品种的基本信息
Table 1 Basic information of 36 dahlia cultivars

系列名称	品种代号	花色	花型	花朵大小	品种代号	花色	花型	花朵大小
巨花系列	AGR-C3	黄橙	球型	巨花	AGR-C4	白黄心玫粉边	装饰型	巨花
	AGR-C5	黄色	睡莲型	巨花	AGR-C7	紫色	装饰型	巨花
大花中花系列	AGR-C8	红色	银莲花型	大花	AGR-C10	黄色	装饰型	大花
	AGR-C11	紫色	绒球型	中花				
梦幻系列	YH-C1	古铜色	银莲花型	中花	YH-C2	粉紫色	装饰型	大花
	YH-C3	薰衣草	睡莲型	大花	YH-C4	橙色有黄条	装饰型	中花
	YH-C5	红色	银莲花型	中花	YH-C6	橙色	装饰型	中花
	YH-C7	粉紫双条	睡莲型	小花	YH-C8	浅粉色	睡莲型	小花
	YH-C9	白心粉紫边	睡莲型	中花				
金刚系列	YH-C12	芙蓉粉	混杂型	小花	YH-C13	紫粉白边	混杂型	中花
	YH-C16	橙色	混杂型	小花	YH-C17	粉色	装饰型	大花
	YH-C18	黄心红白边	绒球型	中花	YH-C20	粉色	装饰型	中花
	YH-C21	黄色	银莲花型	中花	YH-C22	红色	球型	大花
葫芦娃系列	YH-C25	黄色	绒球型	小花	YH-C27	粉色	绒球型	小花
	YY-C1	红色	装饰型	小花	YY-C2	黄色	装饰型	小花
诺娃诱惑系列	YY-C3	古铜色	混杂型	中花	YY-C4	炫紫色	睡莲型	中花
	YY-C6	金黄色	半仙人掌型	大花	YY-C8	粉紫色	睡莲型	小花
	SD-C2	白心粉紫边	睡莲型	中花	GS-V2	深红色	球型	中花
农家种系列	GS-V5	深粉红	球型	中花	GS-V7	深紫色	睡莲型	大花

注: 小花: 5~7 cm; 中花: 7~8 cm; 大花: 8~9 cm; 巨花: 9~12 cm。

2, 6-二氯酚靛酚滴定法^[14], 有机酸含量的测定采用酚酞指示剂滴定法^[14], 参考吴强盛^[16]的邻苯二酐法测定大丽花花瓣的总酚含量; 类黄酮含量的测定采用亚硝酸钠-硝酸铝显色法^[17], 花青素含量的测定采用分光光度计法^[18], DPPH 自由基清除能力采用试剂盒测定, 各个指标含量测定时重复 3 次。

1.3 数据处理

利用 Excel 2010 进行数据统计, 并利用 SPSS 20.0 软件进行显著性分析($P<0.05$)、相关性分析及主成分分析。采用 Origin 2019 软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种大丽花花瓣基本营养成分分析

从表 2 可以看出, 大丽花花瓣可溶性糖含量在 6.95~15.57 mg/g 之间, 平均含量为 11.25 mg/g, 变异系数为 20.66%, 低于菊花^[19]的可溶性糖含量(47.7~84.4 mg/g), 这可能和品种有关, 除此之外巨花系列品种的可溶性糖含量普遍比较高, 在 9.15~14.17 mg/g 之间, AGR-C5 含量最高, 为 14.17 mg/g, AGR-C3 含量最低, 为 9.15 mg/g, AGR-C3 与巨花系列的其它三个品种均具有显著性差异($P<0.05$)。大花中花系列品种的可溶性糖含量在 9.53~15.57 mg/g 之间, 其中 AGR-C10 含量最高, AGR-C8 含量最低。梦幻系列品种的可溶性糖含量在 8.08~13.19 mg/g 之间, 其中 YH-C7 含量最高, YH-C3 含量最低, 且 YH-C7 和 YH-C9 可溶性糖含量显著高于梦幻系列其它品种($P<0.05$)。金刚系列品种的可溶性糖含量在 6.99~14.57 mg/g 之间, 其中 YH-C17 含量最高, YH-C22 含量最低, 且 YH-C12 和 YH-C22 显著低于金刚系

列其它品种($P<0.05$)。此外, 葫芦娃系列品种的可溶性糖含量在 6.95~8.47 mg/g 范围内, 诺娃诱惑系列为 8.51~14.28 mg/g, 农家种系列为 11.70~12.70 mg/g, 从表中可以看出葫芦娃系列可溶性糖含量显著低于其它系列可溶性糖含量($P<0.05$)。不同品种大丽花花瓣可溶性蛋白含量在 0.96~2.01 mg/g 之间, 平均含量为 1.50 mg/g, 变异系数为 14.67%, 品种间差异较小, 其可溶性蛋白含量与菊花(4.3~14.4 mg/g)相比也较低^[19], 这与 Lara-Cortés 等^[8]的研究结果一致: 大丽花表现出较低的蛋白质含量, 此外巨花系列品种的可溶性蛋白含量在 1.38~1.74 mg/g 范围内, 大花中花系列为 1.53~1.71 mg/g, 各品种之间没有显著性差异($P>0.05$)。梦幻系列为 1.17~1.79 mg/g, 金刚系列为 1.25~1.81 mg/g, 葫芦娃系列为 0.96~1.58 mg/g, 诺娃诱惑系列为 1.20~2.01 mg/g, 农家种系列为 1.35~1.66 mg/g。

维生素 C 又被称为抗坏血酸, 是一种水溶性维生素, 具有美容、护齿、提高人体免疫力等多种功效, 并有一定的肺癌防治作用^[20], 不同品种大丽花花瓣的维生素 C 含量在 1.20~151.37 mg/100 g 之间, 平均含量为 37.63 mg/100 g, 变异系数为 51.94%, 各品种间差异较大, 其中 YH-C18 含量最高, 为 151.37 mg/100 g; 含量最低的是 YH-C3, 为 1.20 mg/100 g, 此结果超过了 Lara-Cortés 等^[8]测定的大丽花维生素 C 含量(0.5 μg/g), 也超过了菊花^[19]的维生素 C 含量(0.1785~0.6788 mg/g), 产生差异的原因可能和大丽花的品种、生长环境有关, 也可能和生物合成和降解之间的平衡以及还原和氧化之间的平衡有关^[21], 巨花系列各品种间存在显著性差异($P<0.05$), 其中 AGR-

表 2 不同品种大丽花花瓣部分营养成分含量的变化
Table 2 Changes of nutrient contents in petals of different cultivars of dahliai

品种代号	可溶性糖含量(mg·g ⁻¹ , FW)	可溶性蛋白含量(mg·g ⁻¹ , FW)	维生素C含量(mg·100 g ⁻¹ , FW)	有机酸含量(%, FW)
AGR-C3	9.15±0.28 ^{abcd}	1.58±0.14 ^{efghijklmn}	70.66±6.12 ⁱ	0.60±0.05 ^{cdefghij}
AGR-C4	12.71±1.12 ^{ghijkl}	1.70±0.13 ^{ijklmn}	68.45±5.12 ⁱ	0.71±0.05 ^{ijkl}
AGR-C5	14.17±0.43 ^{ijk}	1.38±0.15 ^{bdefgh}	94.30±5.92 ^{lmn}	0.50±0.04 ^{abcd}
AGR-C7	13.43±0.92 ^{ghijk}	1.74±0.17 ^{klmno}	108.36±3.92 ^{nop}	0.78±0.03 ^{klm}
AGR-C8	9.53±0.93 ^{abcde}	1.53±0.07 ^{defghijklmn}	65.81±5.47 ⁱ	0.66±0.04 ^{efghijkl}
AGR-C10	15.57±0.24 ^k	1.71±0.04 ^{ijklmn}	67.84±0.57 ⁱ	0.39±0.01 ^{ab}
AGR-C11	11.44±1.24 ^{cdefghij}	1.57±0.07 ^{efghijklmn}	44.55±2.78 ^{fg}	0.39±0.01 ^{ab}
YH-C1	11.13±0.51 ^{bdefghi}	1.30±0.03 ^{bcede}	86.88±6.06 ^{ijkl}	1.10±0.11 ^o
YH-C2	9.82±0.15 ^{abcdef}	1.37±0.05 ^{bdefg}	103.62±3.54 ^{mno}	0.69±0.07 ^{ghijkl}
YH-C3	8.08±0.34 ^{ab}	1.71±0.05 ^{ijklmn}	1.20±0.29 ^a	0.66±0.02 ^{efghijkl}
YH-C4	10.97±0.48 ^{bdefgh}	1.25±0.04 ^{bcd}	104.70±3.34 ^{mno}	0.70±0.00 ^{ijkl}
YH-C5	8.48±0.25 ^{abc}	1.57±0.06 ^{efghijklmn}	126.82±5.17 ^{qr}	0.71±0.10 ^{ijkl}
YH-C6	8.17±1.48 ^{ab}	1.17±0.06 ^{ab}	72.24±2.39 ⁱ	0.80±0.01 ^{lmn}
YH-C7	13.19±1.83 ^{ghijk}	1.79±0.08 ^{mno}	75.32±5.80 ^{ijk}	0.74±0.06 ^{ijkl}
YH-C8	10.40±0.64 ^{bdefg}	1.20±0.04 ^{abc}	29.09±4.68 ^{de}	0.69±0.02 ^{ghijkl}
YH-C9	13.13±1.82 ^{ghijk}	1.47±0.03 ^{bdefghijkl}	50.98±7.13 ^{gh}	0.90±0.06 ^{mn}
YH-C12	7.07±0.25 ^a	1.39±0.07 ^{bdefghi}	5.56±1.47 ^{ab}	0.63±0.01 ^{defghijk}
YH-C13	12.76±1.08 ^{efghijk}	1.49±0.07 ^{cdefghijklm}	118.53±6.36 ^{pq}	0.80±0.09 ^{lmn}
YH-C16	10.59±0.70 ^{bdefgh}	1.54±0.05 ^{defghijklmn}	88.06±2.7 ^{kl}	0.38±0.02 ^a
YH-C17	14.57±1.49 ^{jk}	1.36±0.14 ^{bdefg}	14.05±2.23 ^{abc}	0.56±0.01 ^{cdefgh}
YH-C18	11.63±0.82 ^{defghij}	1.63±0.02 ^{efghijklmn}	151.37±2.54 ^s	0.77±0.01 ^{klm}
YH-C20	11.29±0.93 ^{cdefghi}	1.44±0.15 ^{bdefghijk}	18.47±2.27 ^{bcd}	0.70±0.01 ^{hijkl}
YH-C21	12.41±0.41 ^{efghij}	1.81±0.08 ^{no}	73.68±6.91 ^{ij}	0.64±0.03 ^{defghijk}
YH-C22	6.99±0.10 ^a	1.25±0.02 ^{bcd}	60.55±1.89 ^{hi}	0.50±0.01 ^{abcd}
YH-C25	8.47±1.31 ^{abc}	1.58±0.03 ^{efghijklmn}	93.00±1.97 ^{lm}	0.91±0.03 ⁿ
YH-C27	6.95±0.96 ^a	0.96±0.13 ^a	27.08±1.26 ^{cde}	0.52±0.01 ^{bcede}
YY-C1	14.28±0.80 ^{ijk}	1.20±0.05 ^{abc}	88.42±4.57 ^{kl}	0.65±0.01 ^{efghijk}
YY-C2	13.62±1.02 ^{hijk}	1.68±0.09 ^{hijklmn}	74.90±3.35 ^{ijk}	0.71±0.01 ^{ijkl}
YY-C3	11.74±0.06 ^{defghij}	1.77±0.08 ^{lmno}	97.22±2.49 ^{lmn}	0.54±0.05 ^{cdef}
YY-C4	13.60±1.63 ^{hijk}	2.01±0.12 ^o	32.80±3.83 ^{ef}	0.48±0.05 ^{abc}
YY-C6	8.51±0.14 ^{abc}	1.48±0.13 ^{cdefghijklm}	98.03±1.88 ^{lmn}	0.59±0.01 ^{cdefghij}
YY-C8	12.35±0.95 ^{efghij}	1.33±0.08 ^{bdef}	33.72±5.95 ^{ef}	0.68±0.04 ^{ghijkl}
SD-C2	11.70±0.41 ^{defghij}	1.35±0.08 ^{bdefg}	33.25±1.78 ^{ef}	0.55±0.01 ^{cdefg}
GS-V2	12.08±0.12 ^{defghij}	1.61±0.14 ^{efghijklmn}	115.98±6.94 ^{ppq}	0.63±0.02 ^{defghijk}
GS-V5	12.14±1.12 ^{defghij}	1.66±0.09 ^{ghijklmn}	74.95±3.07 ^{ijk}	0.51±0.02 ^{abcd}
GS-V7	12.70±0.71 ^{efghijk}	1.41±0.01 ^{bdefghij}	137.79±9.01 ^r	0.77±0.03 ^{klm}
平均值	11.25	1.50	37.63	0.65
变异系数(%)	20.66	14.67	51.94	23.32

注: 表中不同小写字母为差异显著($P<0.05$), 表3同。

C7 含量最高, 为 108.36 mg/100 g, AGR-C4 含量最低, 为 68.45 mg/100 g。大花中花系列品种间没有显著性差异($P>0.05$), 其中 AGR-C10 含量最高, 为 67.84 mg/100 g, AGR-C11 含量最低, 为 44.55 mg/100 g。梦幻系列品种维生素 C 含量最高的是 YH-C5, 为 126.82 mg/100 g, 含量最低的是 YH-C3, 它的含量显著低于梦幻系列的其它品种($P<0.05$)。金刚系列品种含量最高的是 YH-C13, 为 118.53 mg/100 g, 含量最低的是 YH-C12, 为 5.56 mg/100 g。诺娃诱惑系列含量最高的是 YY-C6, 为 98.03 mg/100 g, 含量最低的是 YY-C4, 为 32.80 mg/100 g。农家种系列含量最低的是 SD-C2, 为 33.25 mg/100 g, GS-V7 含量最高, 为 137.79 mg/100 g。不同品种大丽花花瓣有机酸含量在 0.38%~1.10%之间, 有机酸平均含

量为 0.65%, 变异系数为 23.32%, 与菊花有机酸含量(0.07%~0.44%)不一致, 梦幻系列含量最高的是 YH-C1, 为 1.10%, 含量最低的是 YH-C3, 为 0.66%。金刚系列含量最高的是 YH-C13, 为 0.80%, 含量最低的是 YH-C16, 为 0.38%。葫芦娃系列中 YH-C25 含量最高, 为 0.91%, YH-C27 含量最低, 为 0.52%。诺娃诱惑系列中 YY-C2 含量最高, 为 0.71%, YY-C4 含量最低, 为 0.48%。农家种系列中 GS-V7 含量最高, 为 0.77%, GS-V5 含量最低, 为 0.51%。此外, 除 AGR-C10、AGR-C11 和 YH-C16 有机酸含量显著低于 YH-C1 和 YH-C25 外($P<0.05$), 其余品种间均没有显著性差异($P>0.05$)。Lara-Cortés 等^[8]测定的大丽花水分含量(88%~92%)高于菊花^[19]的含水量(83.72%~91.02%), 这可能是导致大丽花其它营养成

分可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、维生素 C 等营养物质的含量低于菊花的原因之一。

2.2 不同品种大丽花花瓣活性成分含量和抗氧化能力的分析

酚类化合物是重要的植物次生代谢产物,有多种生物活性,尤其在预防人类心脑血管疾病、癌症以及衰老等方面发挥着十分重要的作用^[22],由表 3 可以看出各品种大丽花总酚含量变异系数只有 7.90%,说明品种对大丽花总酚含量的影响不大,除此之外大丽花花瓣的总酚含量变化在 0.19~0.25 mg/g 之间,平均含量为 0.22 mg/g,含量最高的是 YH-C20 和 YH-C21,为 0.25 mg/g,含量最低的是 AGR-C10 和 YY-C3,为 0.19 mg/g,低于除蔷薇花之外其余 22 种花卉的总酚含量(4.83~68.19 mg/g)^[22],低于万寿菊

总酚的含量(26.63 mg/g)^[23],还低于国外 Lara-Cortés 等^[8]测定的大丽花花瓣的总酚含量(3.6~127.5 mg/g),这可能和不同品种所含的酚类化合物的类型有关,也可能和总酚含量的提取方法和测定方法有关。

花青素作为一种黄酮类化合物,广泛应用于营养补充剂、功能性食品配方成分及药物成分等方面,在保健食品方面具有较高的应用价值,存在于大量的花卉、蔬菜和水果中^[24-25]。不同品种大丽花花瓣花青素含量变化在 0.61~2.51 mg/g 之间,平均含量为 1.86 mg/g,变异系数为 27.44%,其中 AGR-C11 含量最高,为 2.51 mg/g;YH-C25 含量最低,为 0.61 mg/g。从表 1 和表 3 可以看出不同颜色的大丽花品种中花青素含量差异较显著($P<0.05$),紫色品种花青素含量较高,黄色大丽花品种花青素含量较低,这与崔虎亮

表 3 不同品种大丽花花瓣活性成分含量和抗氧化能力的变化

Table 3 Changes in the contents of active components and antioxidant capacity of dahliai flower petals of different varieties

编号	总酚含量(mg·g ⁻¹ , FW)	花青素含量(mg·g ⁻¹ , FW)	类黄酮含量(mg·g ⁻¹ , FW)	DPPH自由基清除能力(%, FW)
AGR-C3	0.22±0.01	1.77±0.12 ^{def}	2.90±0.23 ^{defg}	0.30±0.26 ^{cd}
AGR-C4	0.21±0.01	1.16±0.07 ^{bc}	2.83±0.13 ^{def}	0.42±0.07 ^f
AGR-C5	0.24±0.01	1.15±0.05 ^{bc}	3.49±0.14 ^{fighi}	0.33±0.26 ^{cd}
AGR-C7	0.25±0.02	2.00±0.10 ^{defg}	2.70±0.17 ^{def}	0.26±0.04 ^{bc}
AGR-C8	0.23±0.01	0.61±0.06 ^a	2.71±0.11 ^{def}	0.21±0.37 ^{abc}
AGR-C10	0.19±0.02	2.22±0.14 ^{fg}	2.54±0.14 ^{de}	0.24±0.68 ^{bc}
AGR-C11	0.22±0.01	2.51±0.11 ^g	2.13±0.30 ^{cd}	0.31±0.4 ^{cd}
YH-C1	0.21±0.02	2.28±0.12 ^{fg}	1.16±0.24 ^{ab}	0.67±0.45 ^f
YH-C2	0.21±0.02	2.49±0.18 ^g	1.71±0.27 ^{bc}	0.24±0.38 ^c
YH-C3	0.22±0.03	2.20±0.14 ^{fg}	0.97±0.03 ^{ab}	0.23±0.26 ^{abc}
YH-C4	0.23±0.00	1.81±0.12 ^{def}	3.90±0.29 ^{hij}	0.22±0.11 ^{abc}
YH-C5	0.20±0.00	2.08±0.19 ^{efg}	4.57±0.12 ^{jk}	0.24±0.12 ^{cd}
YH-C6	0.25±0.03	2.03±0.16 ^{defg}	1.16±0.24 ^{ab}	0.23±0.84 ^{abc}
YH-C7	0.25±0.03	2.02±0.33 ^{defg}	2.90±0.23 ^{defg}	0.37±0.27 ^{de}
YH-C8	0.20±0.01	2.16±0.41 ^{efg}	3.96±0.37 ^{hij}	0.38±0.13 ^{de}
YH-C9	0.23±0.02	2.03±0.2 ^{defg}	1.67±0.10 ^{bc}	0.66±0.24 ^e
YH-C12	0.22±0.01	1.98±0.09 ^{defg}	1.73±0.20 ^{bc}	0.12±0.58 ^a
YH-C13	0.23±0.01	2.14±0.28 ^{efg}	2.63±0.25 ^{de}	0.24±0.1 ^c
YH-C16	0.21±0.02	1.97±0.21 ^{defg}	2.95±0.16 ^{defg}	0.36±0.49 ^{de}
YH-C17	0.21±0.01	1.95±0.15 ^{defg}	0.84±0.10 ^a	0.22±0.32 ^{abc}
YH-C18	0.24±0.02	2.26±0.20 ^{fg}	4.26±0.29 ^{ijk}	0.41±0.26 ^{de}
YH-C20	0.25±0.02	1.94±0.16 ^{defg}	2.60±0.09 ^{de}	0.67±0.07 ^f
YH-C21	0.25±0.03	0.98±0.18 ^{ab}	4.13±0.02 ^{hijk}	0.40±0.26 ^{de}
YH-C22	0.24±0.02	1.49±0.13 ^{bcd}	3.31±0.27 ^{efgh}	0.45±0.04 ^e
YH-C25	0.23±0.01	0.61±0.02 ^a	2.80±0.13 ^{def}	0.12±0.37 ^{ab}
YH-C27	0.24±0.01	1.57±0.11 ^{cde}	1.74±0.19 ^{bc}	0.67±0.68 ^f
YY-C1	0.23±0.01	2.05±0.07 ^{defg}	3.95±0.03 ^{hij}	0.26±0.4 ^{bc}
YY-C2	0.20±0.03	0.60±0.02 ^a	4.81±0.28 ^k	0.25±0.45 ^{bc}
YY-C3	0.19±0.03	2.02±0.16 ^{defg}	0.54±0.03 ^a	0.27±0.38 ^{bc}
YY-C4	0.21±0.03	2.11±0.06 ^{efg}	0.99±0.09 ^{ab}	0.24±0.26 ^{cd}
YY-C6	0.20±0.02	2.08±0.15 ^{defg}	3.68±0.78 ^{ghi}	0.35±0.11 ^{de}
YY-C8	0.23±0.03	2.23±0.31 ^{fg}	3.50±0.41 ^{fighi}	0.51±0.12 ^{ef}
SD-C2	0.21±0.02	1.98±0.20 ^{defg}	0.80±0.02 ^a	0.26±0.84 ^{bc}
GS-V2	0.24±0.03	2.18±0.21 ^{fg}	4.06±0.17 ^{hijk}	0.35±0.27 ^{cd}
GS-V5	0.23±0.02	2.31±0.07 ^{fg}	2.76±0.38 ^{def}	0.36±0.49 ^{de}
GS-V7	0.24±0.03	2.02±0.06 ^{defg}	3.80±0.25 ^{hij}	0.42±0.32 ^e
平均值	0.22	1.86	2.70	0.34
变异系数(%)	7.92	27.44	44.02	43.16

等^[26]在牡丹上的研究结果一致,据此可以验证不同颜色的花瓣花青素浓度不同,其颜色越深花青素含量越高,颜色越浅花青素含量越低。

类黄酮广泛分布于植物、水果、蔬菜和几种饮料中,是植物中的天然色素,是人类饮食中非能量部分的重要组成部分。不同品种大丽花花瓣类黄酮含量变化在 0.54~4.81 mg/g 之间,变异系数为 44.02%,含量最低的是 YY-C3,为 0.54 mg/g,梦幻系列类黄酮含量高于其它系列,类黄酮平均含量为 2.70 mg/g,含量最高的是 YY-C2,为 4.81 mg/g,其花色为黄色,这印证了黄色与黄酮类化合物存在有关^[27],含量最低的是 YY-C3,为 0.54 mg/g,类黄酮平均含量为 2.70 mg/g,显著低于百合花瓣类黄酮含量(17.32~32.06 mg/g)^[28]。

DPPH 自由基清除能力含量的多少反映的是抗氧化能力的大小,其含量越高抗氧化能力越强,不同品种大丽花花瓣 DPPH 自由基清除能力在 0.12%~0.67% 之间,变异系数为 43.16%,清除率最高的是 YH-C1、YH-C20 和 YH-C27,为 0.67%,YH-C12 和 YH-C25 清除率最低,为 0.12%,DPPH 自由基清除率平均值为 0.34%,这与 Lara-Cortés 等^[8]测定大丽花的 DPPH 自由基清除率不一致(17%~24%),这可能与品种品系的不同有关,也和大丽花的生长环境和测定方法有关。

2.3 36 个大丽花品种营养成分相关性分析

对大丽花主要营养品质指标进行相关性分析,目的是为了揭示各个营养指标之间的关联程度,从而为大丽花营养品质指标的合理选择提供一定依据。不同品种大丽花营养品质指标间的相关性分析如表 4 所示,可溶性糖与可溶性蛋白的相关性达显著水平($P<0.05$),与有机酸、总酚含量均有负相关性。可溶性蛋白与维生素 C、类黄酮、DPPH 自由基清除率均有正相关性;维生素 C 与有机酸、类黄酮在 0.01 水平上呈现极显著正相关,与 DPPH 自由基清除率在 0.05 水平上呈现显著正相关;花青素与类黄酮、DPPH 自由基清除率在 0.05 水平上呈显著正相关;类黄酮

表 4 不同大丽花品种品质指标之间的相关性分析
Table 4 Correlation analysis of quality indexes among different cultivars of dahlia

指标	可溶性糖	可溶性蛋白	维生素C	有机酸	总酚	花青素	类黄酮	DPPH自由基清除率
可溶性糖	1							
可溶性蛋白	0.236*	1						
维生素C	0.123	0.131	1					
有机酸	-0.044	-0.126	0.512**	1				
总酚	-0.077	-0.090	0.072	0.091	1			
花青素	0.057	-0.091	0.023	-0.128	0.148	1		
类黄酮	0.069	0.075	0.558**	0.034	0.030	0.215*	1	
DPPH自由基清除率	0.147	0.009	0.439*	0.049	0.035	0.342*	0.132	1

注: *表示显著相关($P<0.05$); **表示极显著相关($P<0.01$)。

与 DPPH 自由基清除率呈正相关。结果表明大丽花各营养指标均存在不同程度的相关性,维生素 C、总酚、花青素、类黄酮和 DPPH 自由基清除率均具有正相关性,特别是维生素 C 和花青素与 DPPH 自由基清除率具有显著正相关($P<0.05$),说明维生素 C 和花青素的浓度会影响抗氧化能力。

2.4 不同品种大丽花花瓣的综合性评价

采用主成分分析法,从样本相关矩阵出发,对原始数据进行标准化处理后,计算各性状的特征值和方差贡献率,确定主成分的个数。再根据各性状的特征向量,列出主成分的函数表达式,然后计算其主成分值,对测得的 36 个大丽花品种的各营养成分进行综合评价。由表 5 可知,前五个主成分的累计贡献率为 81.399%,这说明前 5 个成分已经代表了全部性状 81.399% 的综合信息。因此,选取前 5 个主成分作为大丽花营养品质的重要主成分。

表 5 主成分特征值、贡献率及累计贡献率
Table 5 Principal component characteristic value, contribution rate and cumulative contribution rate

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
第一主成分	1.811	22.632	22.632
第二主成分	1.688	21.101	43.733
第三主成分	1.176	14.697	58.430
第四主成分	0.975	12.187	70.617
第五主成分	0.863	10.782	81.399

2.4.1 不同品种大丽花花瓣主成分分析因子载荷矩阵分析 由表 6 可见,第一主成分贡献率为 22.632%,其中类黄酮含量和维生素 C 含量具有较大的载荷值;第二主成分贡献率为 21.1016%,在 DPPH 自由基清除率上具有较大的载荷值;第三主成分贡献率为 14.697%,花青素和可溶性糖含量具有较大的载荷值。第四主成分贡献率为 12.187%;第五主成分贡献率为 10.782%,在有机酸含量上具有较大的载荷值。

表 6 主成分分析因子载荷矩阵
Table 6 Principal component analysis factor load matrix

因素	第一主成分	第二主成分	第三主成分	第四主成分	第五主成分
类黄酮	0.777	-0.080	-0.169	-0.023	-0.483
维生素C	0.758	-0.207	0.128	-0.483	-0.063
总酚	0.465	0.448	0.085	0.464	0.004
可溶性蛋白	0.140	-0.748	0.153	0.259	0.322
DPPH自由基清除率	0.086	0.658	0.480	0.284	-0.128
花青素	-0.364	0.059	0.696	-0.454	-0.206
可溶性糖	0.223	-0.512	0.612	0.308	0.013
有机酸	0.455	0.427	0.108	-0.277	0.680

2.4.2 不同品种大丽花花瓣各主成分值及品质得分比较 用各指标变量的主成分载荷(表 6)除以主成分相对应的特征值开平方根,便得到五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 5 个主成分的表达式:

$$Y_1=0.166X_1+0.104X_2+0.563X_3+0.338X_4+0.346X_5-0.27X_6+0.578X_7+0.064X_8$$

$$Y_2=-0.394X_1-0.575X_2-0.159X_3+0.328X_4+0.344X_5+0.045X_6-0.062X_7+0.506X_8$$

$$Y_3=0.564X_1+0.141X_2+0.118X_3+0.099X_4+0.079X_5+0.642X_6-0.156X_7+0.442X_8$$

$$Y_4=0.312X_1+0.262X_2-0.489X_3-0.281X_4+0.47X_5-0.46X_6-0.023X_7+0.287X_8$$

$$Y_5=0.014X_1+0.347X_2-0.068X_3+0.732X_4+0.004X_5-0.222X_6-0.52X_7-0.137X_8$$

式中, X_1 为可溶性糖、 X_2 为可溶性蛋白、 X_3 为维生素 C、 X_4 为有机酸、 X_5 为总酚、 X_6 为花青素、 X_7 为类黄酮、 X_8 为 DPPH 自由基清除能力。

以各个主成分对应的方差贡献率作为权重, 由主成分得分和对应的权重线性加权求和得到综合评价函数。函数公式如下: $Y_{\text{综合}}=0.2263Y_1+0.211Y_2+0.147Y_3+0.122Y_4+0.108Y_5$, 36 个大丽花品种的综合得分及排序结果由表 7 所示, YH-C7 和 YH-C4 营养

品质最好, 而 YH-C20、AGR-C7 的营养品质则相对较低。

2.5 不同品种大丽花花瓣营养成分的聚类分析

通过聚类分析将 36 个不同品种大丽花划分为 5 类, 所得结果如图 1 所示, 从图可以看出, 第一类有 AGR-C3、YH-C6、YH-C7、GS-V5、YH-C21、YY-C2、AGR-C4、AGR-C10、AGR-C8 和 YH-C22, 该类群可溶性糖、可溶性蛋白含量较高, 花青素含量较低, 营养成分含量较高(表 8)。第二类有 AGR-C5、YY-C3、YY-C6、YH-C25、YH-C1、YH-C16、YY-C1、AGR-C7、YH-C2 和 YH-C4, 所有营养成分含量居中。第三类有 YH-C5、YH-C13、GS-V2、YH-C18 和 GS-V7, 可溶性糖含量、维生素 C 含量、花青素含量和类黄酮含量较高, 抗氧化能力较强。第四类有 AGR-C11、YH-C9、YH-C8、YH-C27、YY-C4、SD-C2 和 YY-C8, 可溶性蛋白和有机酸含量较低, 其他成分含量居中。第五类有 YH-C3、YH-C12、YH-C17 和 YH-C20, 可溶性蛋白和维生素 C 含量较低, 其他成分含量居中。此分类结果和主成分分析得出

表 7 不同大丽花品种的主成分得分及排序

Table 7 Principal component scores and ordering of different dahlia cultivars

品种名	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y _{综合}	排序
YH-C7	0.05	1.69	1.87	0.77	1.25	0.87	1
YH-C4	-0.06	2.37	1.83	-1.4	1.96	0.79	2
AGR-C10	-0.17	2.16	1.06	1.83	-0.09	0.79	3
YH-C12	2.06	0.48	0.95	-0.62	-0.3	0.6	4
YH-C9	2.41	0.01	1.09	-0.84	-0.32	0.57	5
AGR-C3	1.97	-0.41	-0.5	2.22	0.11	0.57	6
YH-C16	1.04	-0.33	1.09	1.01	0.69	0.53	7
GS-V2	1.45	-0.68	0.91	0.25	0.95	0.45	8
YY-C4	-0.11	1.21	0.96	0.6	-0.75	0.36	9
YH-C17	1.63	-0.26	0.73	-0.04	-0.73	0.34	10
AGR-C8	-1.48	3.46	-0.8	0.87	-1.22	0.25	11
YY-C1	-0.43	1.91	-0.66	-0.72	0.88	0.22	12
YY-C2	0.94	-0.38	0.68	-1.07	0.65	0.17	13
YH-C5	1.17	-0.47	-0.36	1.25	-0.99	0.16	14
GS-V7	0.49	-0.67	-0.22	0.83	0.77	0.12	15
YH-C22	1.41	-0.07	-2.61	-0.23	2.03	0.11	16
YY-C8	0.87	-0.03	0.45	-0.37	-1.06	0.09	17
YH-C6	-0.1	1.71	-1.47	0.51	-1.33	0.04	18
YY-C6	1.07	0.26	-0.65	-0.99	-0.61	0.01	19
YH-C3	-0.2	-0.66	0.88	0.38	-0.68	-0.08	20
YH-C13	0.51	-0.22	-2.36	0.86	0.76	-0.09	21
AGR-C11	1.62	-1.77	-1.51	0.68	0.31	-0.11	22
YH-C18	-0.13	-0.11	-0.75	-0.08	-0.14	-0.19	23
YH-C25	-0.76	0.83	-0.29	-0.83	-0.93	-0.24	24
YY-C3	1.13	-0.64	-0.79	-2.1	-0.54	-0.31	25
AGR-C5	-0.75	0.02	0.24	-1.94	0.14	-0.35	26
YH-C2	-2.28	0.02	-0.53	0.2	1.19	-0.43	27
YH-C8	-0.13	-0.25	-0.57	-1.51	-0.95	-0.45	28
YH-C1	-1.63	-0.71	0.64	0.29	-1.13	-0.51	29
GS-V5	-0.58	-0.84	-0.16	-0.13	-1.48	-0.51	30
AGR-C4	-2.24	-0.79	0.39	0.49	0.33	-0.52	31
SD-C2	-2.17	-0.22	-0.08	-0.05	0.21	-0.53	32
YH-C27	-1.87	-2.48	0.82	0.97	0.79	-0.62	33
YH-C21	-2.1	0.46	-1.72	-0.41	0.4	-0.64	34
YH-C20	-1.51	-1.87	0.43	-0.79	0.75	-0.69	35
AGR-C7	-1.13	-2.72	1.03	0.1	-0.91	-0.77	36

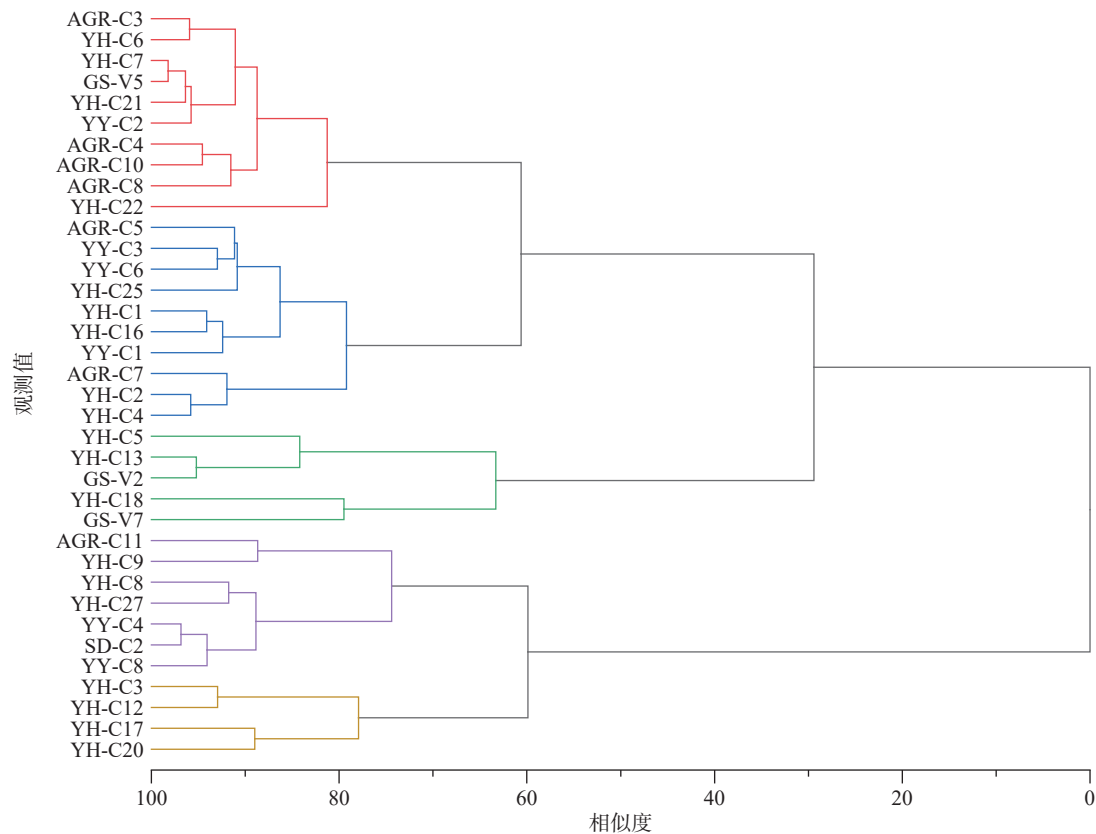


图 1 36 个品种大丽花营养品质综合评价聚类树状图

Fig.1 Cluster tree diagram for comprehensive evaluation of nutritional quality of 36 cultivars of dahlia

的结果基本一致, 综合评分相近的品种聚为一类。

表 8 每类品种的营养成分含量比较
Table 8 Comparison of nutrient component of five types

营养成分	第一类	第二类	第三类	第四类	第五类
可溶性糖(mg/g)	11.35±0.85	11.31±0.55	11.53±0.59	11.37±1.09	10.26±0.75
可溶性蛋白(mg/g)	1.59±0.08	1.46±0.08	1.54±0.06	1.41±0.08	1.47±0.10
维生素C(mg/100 g)	70.44±4.07	96.26±3.64	130.1±6.01	35.92±3.92	9.82±1.56
有机酸(%)	0.63±0.03	0.68±0.04	0.74±0.05	0.60±0.03	0.64±0.01
总酚(mg/g)	0.23±0.02	0.22±0.02	0.23±0.02	0.22±0.02	0.22±0.02
花青素(mg/g)	1.52±0.13	1.85±0.12	2.14±0.19	2.08±0.20	2.02±0.13
类黄酮(mg/g)	3.01±0.20	2.69±0.22	3.86±0.22	2.11±0.21	1.54±0.10
DPPH自由基清除能力(%)	0.32±0.37	0.31±0.30	0.33±0.21	0.43±0.38	0.31±0.31

3 结论

研究结果表明, 36 个不同品种大丽花的营养成分表现出较大的差异, 其中维生素 C 含量的差异最大, 其变异系数为 51.94%, 总酚含量的品种差异最小, 其变异系数只有 7.92%。相关性分析结果表明, 大丽花 8 个指标间均存在不同程度的相关性, 说明指标间存在信息重叠, 不能直接作为准确评价的主要因素, 可对各指标进行分类简化来提高统计信息的准确性和评价效率。主成分分析结果表明, 从 8 项品质指标中提取了 5 个公因子, 方差贡献率达到了 81.399%, 解释了原始变量绝大部分信息, 经综合评价得分前六的品种分别是: YH-C7、YH-C4、AGR-

C10、YH-C12、YH-C9、AGR-C3, 其中 YH-C7 和 YH-C4 的维生素 C、总酚、花青素、类黄酮和抗氧化能力方面较为突出, 除此之外根据总酚和花青素含量的测定结果观察到花瓣颜色不同其含量也不同, 紫色大丽花中含量最多。综上所述, 所测大丽花花瓣不同品系各营养成分含量差异显著, 同一品系的营养成分含量也有显著性差异, 大丽花颜色不同营养成分的含量也不同, 但其差异的具体原因还有待进一步探索, 未来可以从不同地域、不同生长环境等外部环境方面进行分析, 也可以从分子机理层面进行探索, 为大丽花更好的开发利用提供理论依据。

参考文献

[1] OVANDO L M M, BOETTLER R A B. La Dahlia una belleza originaria de México[J]. Revista Digital Universitaria, 2006(7): 2–11.
[2] OHNO S, DEGUCHI A, HOSOKAWA M, et al. A basic helix-loop-helix transcription factor DvIVS determines flower color intensity in cyanic dahlia cultivars[J]. Planta, 2013, 238(2): 331–343.
[3] YOUNIS A, ANJUM S, RIAZ A, et al. Production of quality dahlia (*Dahlia variabilis* cv. *Redskin*) flowers by efficient nutrients management running title: Plant nutrition impacts on dahlia quality[J]. American-Eurasian Journal Agriculture and Environment Science, 2014, 14(2): 137–142.
[4] LARA-CORTÉS E, TRONCOSO-ROJAS R, HERNÁNDEZ-LÓPEZ M, et al. Evaluation of the antimicrobial activity of cinnamaldehyde in the preservation of edible dahlia flowers, under different storage conditions[J]. Revista Chapingo. Serie Horticultura, 2016, 22(3): 177–189.

- [5] TREVIÑO G, MERA O L M, BYE B R, et al. Historia de la dalia (acocoxóchitl) la flor nacional de México[J]. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. México, 2007: 27.
- [6] WHITLEY G R. The medicinal and nutritional properties of dahlia SPP[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 1985, 14(1): 75–82.
- [7] SINGH R S, SINGH T, LARROCHE C. Biotechnological applications of inulin-rich feedstocks[J]. *Bioresource Technology*, 2019, 273: 641–653.
- [8] LARA-CORTÉS E, MARTÍN-BELLOSO O, OSORIO-DÍAZ P, et al. Actividad antioxidante, composición nutrimental y funcional de flores comestibles de dalia[J]. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 2014, 20(1): 101–116.
- [9] PIRES T C S P, DIAS M I, BARROS L, et al. Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential[J]. *Food Research International*, 2018, 105: 580–588.
- [10] ESPEJEL E A R, ALVAREZ O C, MUÑOZ J M M, et al. Physicochemical quality, antioxidant capacity and nutritional value of edible flowers of some wild dahlia species[J]. *Folia Horticulturae*, 2019, 31(2): 331–342.
- [11] 潘芸芸, 冉聪, 刘琼, 等. 四种食用菊花主要成分分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(12): 248–253. [PAN Y Y, RAN C, LIU Q, et al. Analysis of main components of four edible chrysanthemums[J]. *Technology of Food Industry*, 2019, 40(12): 248–253.]
- [12] 赵德修, 赵丽丽. 雪莲花的研究进展[J]. *中草药*, 1996(6): 372–374. [ZHAO D X, ZHAO L L. Research progress of snow lotus[J]. *Chinese Herbal Medicines*, 1996(6): 372–374.]
- [13] 黄静, 常沙沙, 杨卫丽, 等. 夏侧金盏花虾青素合成酶基因 Adkc 的双 T-DNA 表达载体构建[J]. *分子植物育种*, 2019, 17(22): 7386–7389. [HUANG J, CHANG S S, YANG W L, et al. Construction of double T-DNA expression vector of astaxanthin synthase gene Adkc from *Breviscapus scutellariae*[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(22): 7386–7389.]
- [14] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [LI L. Experimental supervision of plant physiology module[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. [LI H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.]
- [16] 吴强盛. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001. [WU Q S. Experimental guidance on plant physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2001.]
- [17] 张新业, 王雨欣, 孙艳香, 等. 胡萝卜类黄酮含量的测定及 DcCHS 基因家族的鉴定分析[J]. *西北农业学报*, 2021, 30(4): 572–581. [ZHANG X Y, WANG Y X, SUN Y X, et al. Determination of flavonoids in carrot and identification of DcCHS gene family[J]. *Northwest Agricultural Journal*, 2021, 30(4): 572–581.]
- [18] MEHRTENS F, KRANZ H, BEDNAREK P, et al. The *Arabidopsis* transcription factor MYB12 is a flavonol-specific regulator of phenylpropanoid biosynthesis[J]. *Plant Physiology*, 2005, 138(2): 1083–1096.
- [19] 金潇潇, 陈发棣, 陈素梅, 等. 20 个菊花品种花瓣的营养品质分析[J]. *浙江林学院学报*, 2010, 27(1): 22–29. [JIN X X, CHEN F L, CHEN S M, et al. Analysis on nutritional quality of petals of 20 chrysanthemum cultivars[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2010, 27(1): 22–29.]
- [20] VILLAGRAN M, FERREIRA J, MARTORELL M, et al. The role of vitamin C in cancer prevention and therapy: A literature review[J]. *Antioxidants*, 2021, 10(12): 1894.
- [21] HUANG M, XU Q, DENG X X. L-Ascorbic acid metabolism during fruit development in an ascorbate-rich fruit crop chestnut rose (*Rosa roxburghii* Tratt)[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2014, 171(14): 1205–1216.
- [22] CHEN G L, CHEN S G, XIE Y Q, et al. Total phenolic, flavonoid and antioxidant activity of 23 edible flowers subjected to *in vitro* digestion[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015, 17: 243–259.
- [23] NAVARRO-GONZÁLEZ I, GONZÁLEZ-BARRIO R, GARCÍA-VALVERDE V, et al. Nutritional composition and antioxidant capacity in edible flowers: Characterisation of phenolic compounds by HPLC-DAD-ESI/MSn[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2014, 16(1): 805–822.
- [24] WILLEMSE C M, STANDER M A, DE VILLIERS A. Hydrophilic interaction chromatographic analysis of anthocyanins[J]. *Journal of Chromatography A*, 2013, 1319: 127–140.
- [25] WILLEMSE C M, STANDER M A, TREDoux A G J, et al. Comprehensive two-dimensional liquid chromatographic analysis of anthocyanins[J]. *Journal of Chromatography A*, 2014, 1359: 189–201.
- [26] 崔虎亮, 贺霞, 张前. 不同牡丹品种开花期间花瓣花青素和类黄酮组成的动态变化[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(13): 2858–2869. [CUI H L, HE X, ZHANG Q. Dynamic changes of petal anthocyanin and flavonoid composition in different peony cultivars during flowering[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2021, 54(13): 2858–2869.]
- [27] LIU L, ZHANG L Y, WANG S L, et al. Analysis of anthocyanins and flavonols in petals of 10 *Rhododendron* species from the Sygera Mountains in Southeast Tibet[J]. *Plant Physiol Biochem*, 2016, 104: 250–256.
- [28] 阎林茂, 郭宇龙, 张延龙, 等. 百合花瓣酚类物质及其抗氧化活性的分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(7): 51–55. [YAN L M, GUO Y L, ZHANG Y L, et al. Analysis of phenolic substances and their antioxidant activities in lily petals[J]. *Food Science*, 2013, 34(7): 51–55.]