

福白菊不同采收期不同部位有效成分 及抗氧化活性评价

马其华¹, 周庆², 陈巧环¹, 王筱¹, 方艳¹, 龚玲^{1,3*}, 刘大会^{1,3*}

(1. 湖北中医药大学药学院, 湖北武汉 430065) (2. 华中科技大学同济医学院附属武汉市中心医院药学部, 湖北武汉 430014) (3. 湖北时珍实验室, 湖北武汉 430065)

摘要: 为有效利用福白菊的非药用部位, 实现菊花资源综合开发利用, 以不同采收期不同部位的福白菊为实验材料, 系统测定并评价了其有效成分含量。同时利用 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基和 2'-联氮双(3-乙基苯和噻唑林-6-磺酸)二胺盐 (ABTS) 自由基清除力和铁离子还原力 (FRAP) 3 种抗氧化指标分析评价其体外抗氧化能力。结果显示, 福白菊不同部位有效成分的含量分别为粗脂肪 9.13~52.18 mg/g, 蛋白质 62.72~189.50 mg/g, 粗纤维 138.26~459.12 mg/g, 总氨基酸和必需氨基酸含量分别为 8.19~45.32 mg/g, 0.45~4.6 mg/g, 总黄酮 11.86~80.99 mg/g, 总酚 13.11~99.33 mg/g, 中性多糖和酸性多糖含量分别为 20.24~96.78 mg/g 和 9.46~43.28 mg/g。进一步氨基酸组成分析表明福白菊中味觉氨基酸占比较大为 41.78%~56.19%, 其次药用氨基酸为 12.50%~46.72%; 9 个多酚类成分单体化合物分析, 酚酸类化合物较黄酮类化合物含量高且差异性显著。通过主成分和模糊数学隶属函数法对有效成分综合分析, 结果为苗 (0.814)、叶 (0.522)、花 (0.378)、茎 (0.058)。福白菊抗氧化综合结果为苗 (65.76%)、叶 (64.56%)、花 (62.53%)、茎 (61.91%)。综上实验结果在对福白菊非药用部位的应用上提供了有力的科技支撑, 有助于进一步拓宽其应用领域。

关键词: 福白菊; 不同部位; 营养成分; 活性成分; 抗氧化活性

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.11.1094

Evaluation of Active Ingredients and Antioxidant Activity of *Chrysanthemum morifolium* cv. Fubaiju at Different Parts and Different Harvesting Stages

MA Qihua¹, ZHOU Qing², CHEN Qiaohuan¹, WANG Xiao¹, FANG Yan¹, GONG Ling^{1,3*}, LIU Dahui^{1,3*}

(1. School of Pharmacy, Hubei University of Chinese Medicine, Wuhan 430065, China)

(2. Department of Pharmacy, Wuhan City Central Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430014, China) (3. Hubei Shizhen Laboratory, Wuhan 430065, China)

Abstract: In order to effectively utilize the non-medicinal parts of *Chrysanthemum morifolium* cv. Fubaiju and achieve comprehensive development and utilization of chrysanthemum resources, the content of its active ingredients was systematically measured and evaluated using *C. morifolium* cv. Fubaiju from different harvesting periods and parts as experimental materials. Simultaneously, the in vitro antioxidant capacity of the compound was evaluated using three antioxidant indicators: 1,1-diphenyl 1-2-trinitrophenylhydrazine (DPPH) radical, 2'-bis (3-ethylbenzene and thiazolin-6-sulfonic acid) diamine salt (ABTS) radical scavenging ability, and iron ion reducing ability (FRAP). The results showed that the content of active ingredients in different parts of *Chrysanthemum morifolium* was 9.13~52.18 mg/g crude fat, 62.72~189.50 mg/g protein, 138.26~459.12 mg/g crude fiber, 8.19~45.32 mg/g total amino acids, and 0.45~4.6 mg/g essential amino acids, respectively, 11.86~80.99 mg/g total flavonoids, 13.11~99.33 mg/g total phenols, 20.24~96.78 mg/g neutral polysaccharides and 9.46~43.28 mg/g acidic polysaccharides, respectively. Further amino acid composition analysis showed that the proportion of taste amino acids in *C. morifolium* was 41.78%~56.19%, followed by medicinal amino acids at 12.50%~46.72%; Analysis of 9 polyphenolic monomers showed that

收稿日期: 2024-07-28; 修回日期: 2024-10-29; 接受日期: 2024-10-30

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFC3503804); 湖北省重点研发计划项目 (2022BBA00020); 中央本级重大增减支项目 (2060302)

作者简介: 马其华 (1999-), 女, 在读硕士, 研究方向: 药学, E-mail: 645706334@qq.com

通讯作者: 龚玲 (1987-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 中药资源品质评价与开发研究, E-mail: gl1224@163.com; 共同通讯作者: 刘大会 (1976-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 中药资源与中药质量评价研究, E-mail: liudahui@hbu.cn

phenolic acid compounds had higher content and significant differences compared to flavonoid compounds. The comprehensive analysis of effective components using principal component analysis and fuzzy mathematical membership function method resulted in seedlings (0.814), leaves (0.522), flowers (0.378), and stems (0.058). The comprehensive results of antioxidant of *Chrysanthemum* were seedlings (65.76%), leaves (64.56%), flowers (62.53%) and stems (61.91%). In summary, the experimental results provide strong scientific and technological support for the application of non-medicinal parts of *chrysanthemum*, which is helpful to further broaden its application field.

Keywords: *Chrysanthemum morifolium* cv. Fubaiju; different parts; nutrients; bioactive constituents; antioxidant activity

菊花为菊科植物菊 *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 的干燥头状花序, 是我国常用、大宗和药食同源的中药材, 有清热解毒、疏风明目、平肝凉血等功效, 具有广泛的医疗保健作用^[1]。菊花的叶及其茎作为其干燥的地上部分, 也有悠久的临床应用价值。《名医别录》载菊花“三月采叶, 五月采茎, 九月采花, 皆阴干”; 《本草纲目》明确记载菊花“花、叶、根、茎、实并同”; 《中药大辞典》和《中华本草》亦对菊叶的功效进行了详细阐述, 指出其味辛、甘, 性平, 有清肝明目、解毒消肿之功效, 可治疗疮、目眩等疾病^[2,3]。

虽然菊茎、叶等部位在古代本草中有关于其药用价值的记载, 但在现代实际应用中仍集中于菊花本身, 《中国药典》中也仅收录了菊花, 其茎叶部位则并未被收录。而据调查显示浙江桐乡每年杭白菊茎叶产量是花的 3.5 倍, 但常被当作农业废弃物处理, 并未得到合理利用, 这种不平衡的资源利用现状不仅造成了资源的严重浪费, 同时也在一定程度上也加剧了环境污染问题^[4]。因此, 为实现资源的最大化利用, 亟需加强对菊非药用部位的开发利用研究。有研究显示, 菊茎叶部位和花含有相似的化学成分, 如氨基酸、黄酮类、酚酸类、多糖类^[5,6]等, 且部分成分的含量优于花。多酚类化合物是一类常见的天然抗氧化剂, 其主要来源于各类高等植物, 如蔬菜、水果以及药用植物等^[7]。这些多酚化合物的种类多样, 包括绿原酸及其衍生物等酚类、木犀草素和芹菜素等类黄酮以及类胡萝卜素等物质^[8], 且在大量的研究中被证实具有较显著的抗氧化活性。冯颖等^[9]对神农香菊茎叶的研究中, 发现其提取物具有较强的自由基清除活性; 贾雨朦等^[10]在滁菊的研究中, 也揭示了槲皮素、绿原酸等单体同样具有较强的抗氧化能力。目前, 已有文献报道, 这些抗氧化物质可有效预防某些疾病, 对人类健康具有较大的积极影响^[11]。

鉴于此, 该研究在前期文献调研的基础上, 以苗期福白菊及其叶、茎、花为实验材料, 分析测定其有效成分的组成和含量, 并通过 3 种抗氧化指标对其体外抗氧化活性进行综合分析评价, 以期对菊花的全面综合利用提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

福白菊药材按照采收时间分为两个时期即 2022 年 11~12 月为花期, 2023 年 4~5 月为苗期; 其中将花期采收的样品分为叶、茎和花 3 个部位, 福白菊样品经湖北中医药大学刘大会教授鉴定为菊科植物福白菊。

乙腈、甲酸、甲醇(色谱纯), 购自德国 Merck 公司; 芦丁、没食子酸、葡萄糖、葡萄糖醛酸、木犀草苷、蒙花苷、芹菜素、槲皮苷、新绿原酸、绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 B、异绿原酸 C、维生素 C、DPPH、ABTS (纯度≥98%), 购自上海源叶生物科技有限公司; 总抗氧化能力(FRAP 法)试剂盒, 购自南京建成生物工程有限公司; 其余所用试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

RE-5205 上海亚荣旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; 台式高速冷冻离心机, 湖南赫西仪器装备有限公司; A580 型紫外-可见分光光度计, 翱艺仪器有限公司; 高效液相色谱/三重串联四极杆质谱联用仪器, Agilent; Bio-Tek Synergy 2 型酶标仪, 美国 Gene 公司; K9860 凯氏定氮仪, 海力品科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 营养成分测定

水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》直接干燥法操作; 参照 GB

5009.5—2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定粗蛋白含量；根据 GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》索氏抽提法测定粗脂肪含量；参照 GB 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》测定粗纤维含量。

1.3.2 氨基酸含量测定

此部分数据由武汉迈特维尔生物科技有限公司代为检测。超高压液相色谱条件：色谱柱：Waters ACQUITY UPLC HSS T3 C₁₈ 柱（1.8 μm，100 mm×2.1 mm），流动相 A、B 分别为 0.1% 的甲酸水溶液和乙腈-0.1% 甲酸溶液。柱温 40 ℃，流量 0.35 mL/min，进样量 2 μL。洗脱程序：0~0.1 min，90% B；0.1~2 min，90%~70% B；2~5 min，70%~50% B；5~7.5 min，40%~50% B；7.5~9.4 min，40% B；9.4~9.5 min，40%~90% B；9.5~12 min，90% B。质谱条件：电喷雾离子源温度为 550 ℃，正离子模式下质谱电压 5 500 V，负离子模式下质谱电压-4 500 V，气帘气 241.32 kPa。

1.3.3 总黄酮、总酚酸及其单体化合物含量测定

总黄酮含量测定：参考谭富耀等^[12]方法，配置质量浓度为 0.4 mg/mL 的芦丁标准溶液，按操作测定 510 nm 波长处吸光度并绘制标准曲线。取 1.0 mL 样品溶液放入试管，依据标准曲线法操作后，计算总黄酮的含量。

总酚酸含量测定：参考陈金详等^[13]方法，配制质量浓度分别为 20、40、60、80、100 μg·mL⁻¹ 的没食子酸标准溶液，按操作测定 765 nm 波长处的吸光度，绘制回归方程曲线。精密量取不同的样品溶液，按标准曲线法操作，计算总酚的含量。

多酚单体含量测定：按照本团队已优化的色谱方法测定^[14]。

1.3.4 总多糖含量测定

中性多糖采用苯酚硫酸法^[5]，配置质量浓度为 1 mg/mL 葡萄糖标准溶液，按操作测定不同质量浓度标准溶液在 490 nm 处吸光度并绘制标准曲线；酸性多糖采用硫酸-咔唑法，配置不同质量浓度的葡萄糖醛酸按文献中操作测定 523 nm 处吸光度值并绘制出标准曲线。

1.3.5 体外抗氧化活性测定

DPPH 自由基清除能力：参考刘引^[15]的方法，精密称取 DPPH 粉末 0.4 mg，用无水乙醇定容至 10 mL，得到质量浓度为 0.04 mg/mL 的 DPPH 储备液。分别吸取 100 μL 不同质量浓度的样品溶液和 100 μL 储备液依次加入到 96 孔板内，混匀，室温放置 30 min，用酶标仪测定在 517 nm 下的吸光值；分别以等量提取液代替样品溶液测得空白吸光度，等量无水乙醇代替储备液测得样品本底吸光度，同法操作相应质量浓度的 Vc。按照下列公式计算清除率：

$$\omega = \frac{A_0 - (A_i - A_j)}{A_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

ω ——为羟自由基清除率（%）；

A_0 ——为样品的吸光值；

A_i ——为空白吸光值；

A_j ——为样品本底吸光值。

ABTS⁺自由基清除能力^[15]：将 7 mmol/L 的 ABTS⁺溶液和 2.45 mmol/L 的 K₂S₂O₈ 溶液等体积混匀，避光放置 12~16 h，在实验前用纯水将其稀释至吸光度为 0.7±0.02 左右，即得 ABTS 工作液。取 150 μL ABTS 工作液和 50 μL 的不同质量浓度的样品溶液分别置于酶标板内，室温避光反应 6 min，于 734 nm 波长处测定样品吸光度；并测得空白吸光度和样品本底吸光度。按相同操作处理不同质量浓度的 Vc，并按照公式（1）计算其清除率。

总抗氧化能力（T-AOC）：配置 FeSO₄·7H₂O 标准溶液，绘制标准曲线，并依据试剂盒要求步骤加样，最终以标准溶液 FeSO₄ 的浓度来表示总抗氧化能力。

1.3.6 主成分分析及综合评价

为了能够客观评价各营养指标对福白菊的影响，采用主成分分析和模糊数学法，对营养指标进行综合评价。当主成分的累计贡献率≥80%时，即可表明提取的主成分能代表所测指标的足够的信息^[16]。用模糊数学隶属函数法对测试数据进行综合分析评价，其中隶属函数值表示对福白菊营养价值的影响程度。另外对于不同种化合物化学性质的差异，以及 3 种抗氧化指标本身的反应原理和条件不同，可能会对福白菊抗氧化活性的测定存在非一致性，

因此我们依据 Seeram 等^[17]提出的抗氧化活性综合（APC）指数法，对不同测定方法下的抗氧化结果进行综合评价，以直接比较福白菊不同采收时期不同部位间的抗氧化活性差异。

1.4 数据分析

所有实验均平行操作 3 次，最终结果以平均值±标准偏差的形式呈现。数据经 Excel 2010 初步整理后，用 GraphPad Prism 8 进行绘图，采用 SPSS 22.0 对数据进行显著性分析、主成分分析及综合评价。

2 结果与分析

2.1 福白菊不同采收期不同部位基础营养成分比较分析

由表 1 可知，福白菊基础营养成分中粗脂肪含量为 9.13~52.18 mg/g，蛋白质含量范围为 62.72~189.50 mg/g，粗纤维含量范围在 138.26~459.12 mg/g。其中福白菊苗期蛋白质含量显著高于花期，花期又以叶部位中含量最高，花中次之，茎中含量最少。脂肪含量在花中最高，接下来依次是苗、叶、茎。粗纤维含量依次是茎>苗>叶>花。陈雪文等^[18]研究也表明菊茎叶粗蛋白含量 43.2~84.1 mg/g，脂肪含量 16.3~31.4 mg/g，纤维素含量 138.26~469.7 mg/g。因此，依据国家标准规定苗期和花期的福白菊叶可作为很好的高蛋白高纤维低脂肪资源研发再利用或开展动物饲料方面的研究，避免资源浪费。

表 1 福白菊不同采收期不同部位基本营养成分含量比较

Table 1 Comparison of basic nutrients contents in *C.morifolium* cv. Fubaiju in at different parts and different times (mg/g)(n=3)

部位	脂肪	粗蛋白	粗纤维
苗	32.28±0.44 ^b	189.5±5.64 ^a	219.2±3.78 ^b
叶	29.35±0.33 ^c	171.63±4.58 ^b	197.5±4.61 ^c
茎	9.13±0.22 ^d	62.72±3.23 ^d	459.12±10.86 ^a
花	52.18±0.22 ^a	110.47±1.83 ^c	138.26±11.21 ^d

注：表中同列中小写字母表示差异显著（*P*<0.05），均为绝对含量。

2.2 福白菊不同采收期不同部位氨基酸成分比较分析

由表 2 可知，福白菊中的氨基酸种类和含量随着采收时期及部位的变化呈现出一定差异。苗期所含氨基酸种类最为全面且含量较高，总氨基酸和必需氨基酸含量分别为 45.31 mg/g 和 4.60 mg/g；进入花期后总氨基酸和必需氨基酸含量相对减少，含量由高到低依次为叶、花、茎，在茎中含量仅分别为 8.19 mg/g 和 0.45 mg/g。另外值得注意的是，在福白菊不同部位中含量最高的氨基酸均为γ-氨基丁酸（GABA），又以苗期含量最高，为 12.40 mg/g，分别是叶的 3 倍，花和茎的 4 倍。GABA 作为一种主要的抑制性神经递质，具有降低血压、调节呼吸及食欲以及抗应激等多种功能^[20]。近年来，GABA 在动植物领域的应用日益广泛，目前，已有研究发现在动物生产中应用 GABA，可提高动物的采食量、生长性能、抗氧化和抗应激能力^[21]。更为特别的是，该研究在不同部位中均检测出一种特殊的氨基酸—牛磺酸。众所周知，膳食牛磺酸作为一种条件必需氨基酸在动物性食品中较为常见，并在哺乳动物组织中广泛存在，具有抗氧化、抗炎、肝肾保护等作用^[22]。由此可见，福白菊非药用部位是氨基酸类物质获取的重要资源。

表 2 福白菊不同采收期不同部位氨基酸含量比较

Table 2 Comparison of basic nutrient content in *C.morifolium* cv Fubaiju at different parts and different stages (mg/g) (n=3)

氨基酸种类	简写	苗	叶	茎	花
*缬氨酸	Val	0.74±0.05 ^a	0.09±0.00 ^c	0.07±0.01 ^c	0.19±0.01 ^b
组氨酸	His	0.32±0.03 ^a	0.06±0.00 ^b	0.08±0.01 ^b	0.06±0.00 ^b
甘氨酸	Gly	0.23±0.01 ^a	0.02±0.00 ^c	0.02±0.00 ^c	0.04±0.00 ^b
谷氨酸	Glu	8.24±0.48 ^a	1.64±0.09 ^c	0.60±0.04 ^d	6.12±0.32 ^b
谷氨酰胺	Gln	6.53±0.45 ^a	1.26±0.03 ^c	1.56±0.12 ^c	4.55±0.23 ^b

天冬氨酸	Asp	2.13±0.10 ^a	0.08±0.01 ^c	0.09±0.01 ^c	1.36±0.05 ^b
天冬酰胺	Asn	2.68±0.19 ^a	0.22±0.01 ^b	0.25±0.02 ^b	0.64±0.03 ^b
精氨酸	Arg	0.99±0.08 ^a	0.08±0.01 ^c	0.14±0.01 ^c	0.55±0.03 ^b
丙氨酸	Ala	3.35±0.27 ^a	0.25±0.01 ^b	0.14±0.01 ^b	0.40±0.01 ^b
*异亮氨酸	Ile	0.64±0.03 ^a	0.14±0.01 ^c	0.12±0.01 ^c	0.19±0.02 ^b
L-酪氨酸	Tyr	0.63±0.04 ^a	0.02±0.00 ^b	0.02±0.00 ^b	0.17±0.01 ^b
*色氨酸	Trp	0.59±0.02 ^a	0.25±0.01 ^a	0.08±0.00 ^b	0.08±0.01 ^b
*亮氨酸	Leu	0.59±0.04 ^a	0.09±0.01 ^b	0.05±0.00 ^b	0.18±0.01 ^b
*苏氨酸	Thr	1.20±0.07 ^a	0.13±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.31±0.01 ^b
丝氨酸	Ser	1.47±0.12 ^a	0.10±0.00 ^b	0.12±0.02 ^b	0.20±0.01 ^b
*苯丙氨酸	Phe	0.25±0.01 ^a	0.04±0.01 ^b	0.02±0.00 ^b	0.08±0.01 ^b
脯氨酸	Pro	1.68±0.14 ^b	2.62±0.10 ^a	1.81±0.11 ^b	0.84±0.02 ^c
*赖氨酸	Lys	0.57±0.04 ^a	0.03±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.07±0.00 ^b
γ-氨基丁酸	GABA	12.40±0.86 ^a	4.30±0.18 ^b	2.91±0.32 ^c	3.17±0.14 ^c
半胱氨酸	Cys	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a	0.00±0.00 ^a
*甲硫氨酸	Met	0.01±0.00 ^a	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
5-羟色氨酸	5-HTP	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a
鸟氨酸	Orn	0.07±0.01 ^a	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b	0.01±0.00 ^b
牛磺酸	Tau	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a
茶氨酸	L-Theanine	0.01±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
氨基酸总量	T	45.32±3.03 ^a	11.39±0.49 ^c	8.19±0.72 ^d	19.22±0.89 ^b
必需氨基酸	EAA	4.60±0.26 ^a	0.76±0.05 ^c	0.45±0.03 ^d	1.09±0.05 ^b
非必需氨基酸	NEAA	40.71±2.77 ^a	10.64±0.44 ^c	7.74±0.69 ^d	18.13±0.84 ^b

注：“*”为必需氨基酸；表中同列中小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

为了深入探究福白菊不同采收期不同部位中氨基酸的营养、保健和味觉特性，分别进行了必需氨基酸、药用氨基酸以及味觉氨基酸的组成分析，其结果见表3。分析结果显示，福白菊不同部位所含必需氨基酸与非必需氨基酸的比例相差较大，具体范围在7.32%~16.29%之间。药用氨基酸组成比例在12.5%~46.72%之间，味觉氨基酸的范围在41.78%~56.19%之间。福白菊苗期和叶中药用氨基酸和味觉氨基酸所占比例与花相似，且鲜甜味氨基酸与苦味氨基酸的比例多数超过3。有学者对不同菊花氨基酸组成分析研究结果得出鲜味氨基酸含量范围为1.245~2.575 mg/g、甜味氨基酸1.515~3.764 mg/g和苦味氨基酸0.959~2.562 mg/g，表明菊花有爽口细腻清香的口感^[23]。综合本实验研究结果同样可以看出福白菊不同部位在口感上具有一定的优越性。

表3 福白菊不同采收期不同部位氨基酸组成分析

Table 3 Analysis of amino acid composition in *C.morifolium* cv Fubaiju at of different parts and different stages

部 位	必需氨基酸组成/%		药用氨基酸(MAA)组成/%	味觉氨基酸含量/mg/g			
	EAA/NEAA	EAA/T	MAA/T	鲜味氨基酸 (UAA)	甜味氨基酸 (SAA)	苦味氨基酸 (BAA)	味觉氨基酸组 成/%
苗	16.29	14.01	37.58	10.37±0.59	8.51±0.65	6.15±0.46	55.24
叶	11.98	10.70	22.13	1.71±0.10	3.15±0.13	0.65±0.05	48.34
茎	9.36	8.56	12.50	0.68±0.06	2.19±0.16	0.55±0.04	41.78
花	7.32	6.82	46.72	7.48±0.37	1.86±0.04	1.45±0.07	56.19

注：MAA：Tyr、Arg、Asp、Ile、Phe、Lys、Glu、Gly、Ala；UAA：Asp、Glu；SAA：Gly、Ala、Ser、Thr、Pro、Lys；BAA：Val、Met、Leu、Ile、Phe、Arg、His。

2.3 福白菊不同采收期不同部位多酚及单体组分比较分析

福白菊不同采收期不同部位中的总黄酮和总酚的回归方程分别是 $y=4.495\ 4x+0.011\ 5$ ， $r=0.999\ 5$ ；

$y=0.001\ 5x-0.001$, $r=0.999\ 6$ 两者线性关系良好, 含量如图 1 所示, 总黄酮和总酚含量分别在 11.86~80.99 mg/g 和 13.11~99.33 mg/g 之间, 其中均以苗期含量最高。具体表现为苗期中的黄酮类成分为花(38.84 mg/g)的 2 倍, 是茎(11.86 mg/g)的 7 倍之多; 酚酸类成分也为花的 2 倍之多, 茎的 8 倍。为进一步明确福白菊中两类成分具体差异利用液相质谱联用技术定量分析了 9 个多酚单体化合物的含量, 结果见表 4。福白菊不同部位中均含有 9 种多酚类化合物, 其中木犀草苷和异绿原酸 C 在花中含量最高分别为 1.28 和 3.04 mg/g; 蒙花苷、芹菜素和槲皮苷在叶和苗期均最高; 绿原酸、异绿原酸 B 在叶最高, 尤其是绿原酸含量高达 22.53 mg/g, 约是苗期的 2 倍, 花的 5 倍, 茎的 16 倍; 新绿原酸和异绿原酸 A 在苗期含量最高, 其中新绿原酸约是花和茎的 6 倍, 异绿原酸 A 含量约是花和茎的 3 倍。总体而言, 福白菊多酚类成分在 4~5 月份(苗期)采收或是 11~12 月份(花期)采集叶部位时, 显示出较高的得率。

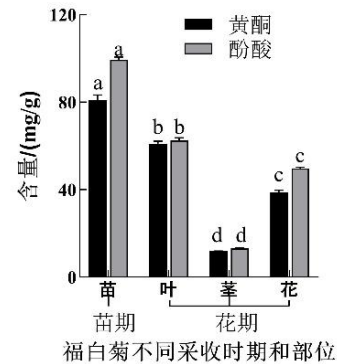


图 1 福白菊不同采收期不同部位总黄酮、总酚酸含量比较

Fig.1 The contents of total flavonoids and total phenolic acids in different parts of *Chrysanthemum* cv Fubaiju in diferrent times ($n=3$)
注: 图中同一颜色柱状图中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 4 福白菊不同采收期不同部位 9 种多酚化合物的含量比较

Table 4 Comparison of the contents of 9 polyphenolic compounds in <i>C.morifolium</i> cv Fubaiju at of different parts and different stages (mg/g) ($n=3$)									
部位	木犀草苷	蒙花苷	芹菜素	槲皮苷	绿原酸	新绿原酸	异绿原酸 A	异绿原酸 B	异绿原酸 C
苗	0.28±0.06 ^b	1.62±0.06 ^a	0.06±0.00 ^a	0.13±0.05 ^a	10.30±0.46 ^b	17.65±0.63 ^a	17.27±0.14 ^a	1.04±0.24 ^c	2.35±0.12 ^b
叶	0.99±0.16 ^a	1.62±0.17 ^a	0.08±0.01 ^a	0.13±0.06 ^a	22.53±1.36 ^a	11.45±0.41 ^b	11.45±0.41 ^b	1.76±0.14 ^a	1.60±0.05 ^c
茎	0.15±0.03 ^b	0.54±0.08 ^b	0.01±0.00 ^a	0.05±0.01 ^b	1.36±0.15 ^d	2.32±0.12 ^c	4.94±0.46 ^c	0.17±0.04 ^d	0.37±0.01 ^d
花	1.28±0.34 ^a	1.58±0.04 ^a	0.04±0.00 ^a	0.10±0.02 ^a	4.29±0.72 ^c	2.80±0.07 ^c	4.78±0.72 ^c	1.30±0.17 ^b	3.04±0.63 ^a

注: 表中同列中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 福白菊不同采收期不同部位多糖成分比较分析

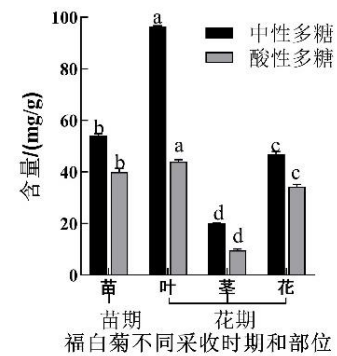


图 2 福白菊不同采收期不同部位多糖含量比较

Fig.2 Comparison of polysaccharide content in *C.morifolium* cv Fubaiju at different parts and different times ($n=3$)
注: 图中同一颜色柱状图中不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

福白菊在不同采收期不同部位中性和酸性多糖的回归方程线性关系良好，分别为 $y=11.934x+0.0072$ ， $r=0.9989$ ， $y=0.0099x+0.0147$ ， $r=0.9989$ 。多糖含量具体如图2所示，叶中的中性多糖和酸性多糖含量较高，分别为96.78 mg/g和44.04 mg/g，这一含量近似为苗期和花的2倍，更是茎的5倍。随着近几年对菊花多糖的关注有越来越多学者对此进行研究。常相伟等^[6]对9个不同产地菊花茎叶中性多糖和酸性多糖含量测定结果分别为15.43~43.79 mg/g和12.04~30.41 mg/g，刘存芳等^[24]测得野菊茎叶多糖含量在62.6 mg/g。除此之外，菊花叶多糖也被证实具有良好的抗氧化、抗炎、调节血脂及肠道功能紊乱等多种药理功能^[4]，魏丹丹等^[3]研究发现菊非药用部位多糖可以通过调节氨基酸生物合成和代谢，改善脂多糖所致肠道功能紊乱。这提示我们可以对福白菊茎叶等非药用部位多糖进一步开发利用，避免资源浪费。

2.5 福白菊不同采收期不同部位抗氧化能力比较分析

维生素C作为对照，以福白菊多酚、多糖类成分对DPPH和ABTS两种自由基的半抑制浓度（IC₅₀值）和最高浓度时铁离子还原能力来表示其体外抗氧化能力。从图3可知，福白菊中的两类成分抗氧化性能较低于对照组，福白菊多糖类成分对两种自由基的清除效果优于多酚类成分。其中，福白菊叶中多糖类成分对DPPH和ABTS清除能力最强，IC₅₀值分别为0.03 mg/mL和0.01 mg/mL，然后依次为苗期、花、茎；多酚类成分在苗期对两种自由基清除能力最强，IC₅₀值分别为0.04 mg/mL和0.06 mg/mL，然后依次为叶、花、茎（图3A，B）。按总抗氧化试剂盒绘制标准曲线 $y=0.3982x+0.0381$ ， $r=0.9992$ ，计算出相对应的Fe³⁺的浓度。从图3C看出，多酚类成分对铁离子的还原能力优于多糖，又以苗期多酚对铁离子的还原力最强。当质量浓度为0.4 mg/mL时，其还原能力高达0.98 mmol/L；相对而言，叶的还原能力略低于苗期，为0.95 mmol/L；花次之，为0.79 mmol/L；茎最弱，仅为0.34 mmol/L。而多糖类成分以花期叶的还原能力最强，在苗期和花部较弱，茎中最低。近年来，菊茎叶抗氧化功能也受到大家关注，研究证实茎叶提取物和花有相似的药理作用^[25]，对葡聚糖硫酸钠诱导的斑马鱼炎症也有保护作用^[26]，此外菊花叶的抗氧化作用在缓解视觉疲劳方面得到了强调^[27]。综上所述，苗期和叶部多糖和多酚类成分的抗氧化能力强于花和茎两个部位，也进一步证实了福白菊叶等非药用部位和花药用功能相似，提示我们菊茎叶等资源有极大的应用前景。

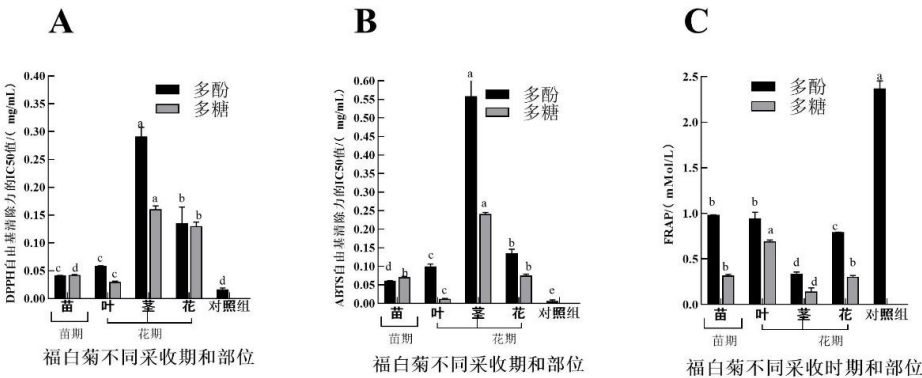


图3 福白菊不同采收期不同部位抗氧化能力比较

Fig.3 Comparison of antioxidant capacity of *Chrysanthemum* cv Fubaiju at different stages and in different parts

注：图中同一颜色柱状图中不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

2.6 福白菊不同采收期不同部位各营养指标的主成分分析及综合评价

选择7种必需氨基酸和脂肪、粗蛋白、粗纤维、黄酮、酚酸、中性多糖、酸性多糖等14个因子进行了主成分分析，由表5可知，前3个主成分的累计贡献率达到了100%，表明提取的3个主成分可以代表所测指标的全部信息。采用模糊数学法对福白菊营养指标进行综合评价，结果如表6所示。主成分1、主成分2和主成分3的最大综合指标值分别为1.399、1.132、0.962，最小值分别为-0.976、-1.098、-1.402。对于PC1的综合指标，福白菊在苗期时的隶属函数值最大，为1.00，叶、花次之，茎中的隶属函数值最小。这说明福白菊在苗期中酚酸、黄酮和七种必需氨基含量最高，综合指标表现最优，茎的营养指标表现最差。对PC2综合指标而言，菊花叶隶属函数值最大，花、苗次之，茎中最低，表明中性多糖和酸性多糖含量叶中最高，茎中则最低；对PC3综合指标来说，

叶、茎隶属函数值最大，花最小，这说明粗纤维在叶、茎综合指标表现最优，花的营养指标较差。计算出主成分1、2、3的权重分别为0.692、0.213、0.094，并据此进一步得出营养综合评价值。按照评价值的大小排序，依次为菊花苗（0.814）>叶（0.522）>花（0.378）>茎（0.058）综合本研究得出福白菊苗期和叶中的营养、功能组分种类多且含量丰富，应该重视对其苗期及叶的利用，提高资源利用率。

表 5 3 个主成分的特征值、贡献百分率、累积贡献率及其特征向量

Table 5 Eigenvalues, contribution percentages, cumulative contribution rates and eigenvectors of the three principal components

分量来源	主成分		
	1	2	3
初始特征值	11.078	69.235	69.235
贡献百分率/(%)	3.411	21.320	90.554
累积贡献率/(%)	1.511	9.446	100.000
Val	0.085	-0.085	-0.046
His	0.079	-0.126	0.08
Arg	0.078	-0.072	-0.312
Ile	0.085	-0.084	-0.013
Trp	0.083	-0.033	0.241
Leu	0.086	-0.069	-0.062
Thr	0.085	-0.083	-0.055
Phe	0.086	-0.071	-0.065
Met	0.083	-0.099	0.03
脂肪	0.03	0.178	-0.554
粗蛋白	0.073	0.136	0.244
粗纤维	-0.045	-0.226	0.298
黄酮	0.08	0.109	0.161
酚酸	0.085	0.079	0.063
中性多糖	0.024	0.254	0.327
酸性多糖	0.059	0.218	0.034

表 6 福白菊不同采收期不同部位的有效成分的综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation values of active ingredients in *C.morifolium* cv Fubaiju at different parts and different stages

部位	综合指标值			隶属函数值			综合评价值	排序
	PC1	PC2	PC3	$\mu(x1)$	$\mu(x1)$	$\mu(x1)$		
苗	1.399	-0.523	0.138	1	0.258	0.651	0.814	1
叶	-0.208	1.132	0.962	0.323	1	1	0.522	2
茎	-0.976	-1.098	0.301	0	0	0.720	0.058	4
花	-0.215	0.489	-1.402	0.320	0.712	0	0.378	3
指标权重				0.692	0.213	0.094		

表 7 福白菊抗氧化活性综合评价

Table 7 Comprehensive evaluation of antioxidant activity of polyphenols in *C.morifolium* cv Fubaiju

部位	APC 指数/%			APC 综合指数/%	APC 指数排序
	DPPH	ABTS	FRAP		
苗	100.00	97.00	0.28	65.76	1
叶	93.53	100	0.15	64.56	2
茎	100.00	85.64	0.10	61.91	4
花	87.30	100	0.30	62.53	3

对3种不同测定方法下的抗氧化结果综合评价结果如表7所示,APC指数由高到低排序为:苗>叶>花>茎。由此可见,除茎外福白菊苗期和叶部的抗氧化活性均较优于花,显示出其良好的抗氧化潜力,说明福白菊茎、叶等部位值得进一步的研究与开发利用。

3 结论

该研究通过对福白菊苗期及花期叶、茎、花不同部位中的有效成分进行测定,结果显示脂肪含量花中最高,粗纤维含量茎中最高,多糖含量叶中最高,蛋白质、氨基酸、黄酮和酚酸类成分均在苗期含量最高。其中氨基酸作为影响口感的关键物质及菊花的核心营养成分,在福白菊不同采收期不同部位中含量丰富且组成多样,苗期氨基酸种类就多达24种。对福白菊有效成分综合评价结果为苗期优于花期,不同部位间叶、花、茎营养价值依次降低。在近年来对菊茎叶等非药用部位抗氧化活性方面的研究吸引了越来越多学者关注,我们对不同采收期和不同部位福白菊多酚和多糖类成分抗氧化研究结果表明其具有较强的抗氧化性能且苗期和叶抗氧化能力优于花。多酚和多糖类成分抗氧化分析结果同样表明苗期和叶抗氧化能力优于花。本文研究内容为扩大福白菊药用资源范围提供了科学依据,同时也为其综合开发利用奠定了坚实的科技基础。

参考文献

- [1] CUI Y Y, PENG S, DENG D, et al. Solid-state fermentation improves the quality of chrysanthemum waste as an alternative feed ingredient. [J]. Journal of Environmental Management, 2022, 330(30): 117060-117060.
- [2] DANG D K, NGUYEN M H C, NGUYEN N N T, et al. Antioxidant potentials of extracts from different parts of *Clinacanthus nutans* (Burm. f.) Lindau. [J]. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 2024, 37(2 Special): 451-458.
- [3] 魏丹丹,段金彪,宿树兰,等.菊茎叶提取物改善肠功能失调的代谢组学研究[J].中草药,2019,50(13):3084-3093.
- [4] 刘夏进,李懿,宿树兰,等.药用菊非药用部位的资源化利用现状与展望[J].中草药,2020,51(15):4075-4081.
- [5] WATANABE T, FUJIKAWA K, Urai S, et al. Identification, chemical synthesis, and sweetness evaluation of rhamnose or xylose containing steviol glycosides of stevia (*Stevia rebaudiana*) leaves. [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2023, 71(29): 11158-11169.
- [6] 常相伟,魏丹丹,宿树兰,等.9个不同产地菊茎叶中多类型资源性化学成分的分析与评价[J].中国现代中药,2020,22(4):564-572.
- [7] DI L C, COLOMBO F, BIELLA S, et al. Polyphenols and human health: The role of bioavailability. [J]. Nutrients, 2021, 13(1): 273.
- [8] DOAN T T M, TRAN G H, NGUYEN T K, et al. Comparative antioxidant potentials and quantitative phenolic compounds profiles among the flowers and leaves from various *Chrysanthemum morifolium* cultivars [J]. Pharmaceuticals (Basel, Switzerland), 2024, 17(3): 340-354.
- [9] 冯颖,李彬,周春苗,等.神农香菊茎叶总黄酮与总酚的提取纯化和抗氧化活性研究[J].世界科学技术-中医药现代化,2022,24(4):1422-1432.
- [10] 贾雨朦,陈芹芹,毕金峰,等.滁菊的功能成分及其体外抗氧化活性[J].食品科学,2019,40(23):66-72.
- [11] GIUSEPPE C, MANUELA C, ORAZIO V, et al. Polyphenol conjugates and human health: a perspective review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016,56(2): 326-337.
- [12] 谭富耀,盛赵越,胡婷,等.超声波辅助提取麻城福白菊总黄酮工艺优化及其抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2020,41(14):154-159.
- [13] 陈金祥,杨静,刘淑珍,等.多种植物总酚含量和抗氧化能力的测定和比较分析[J].山西大学学报(自然科学版),2020,43(1):150-157.
- [14] XU Y, LIU Y, PENG Z, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer on the yield, quality, and pharmacological activity of *Chrysanthemum morifolium*. [J]. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = The Journal of Applied Ecology, 2021, 32(8): 2800-2808.
- [15] 刘引.不同菊花种质资源农艺性状、化学成分和药理作用比较研究[D].武汉:湖北中医药大学,2020.
- [16] 杨钰琪,余晓娥,欧源,等.主成分分析和隶属函数法对不同种植模式下核桃营养品质的综合评价[J].林业科技通讯,2022,12:33-39.
- [17] SEERAM N P, AVIRAM M, ZHANG Y J, et al. Comparison of antioxidant potency of commonly consumed polyphenol-rich beverages in the United States [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(4): 1415-1422.
- [18] 陈雪文,路顺萍,李龙龙,等.4种菊花茎叶营养成分分析及体外降解效果评价[J].中国畜牧杂志,2024,60(4):271-275.
- [19] 朱琳,郭建明,杨念云,等.菊非药用部位化学成分分布及其动态积累研究[J].中草药,2014,45(3):425-431.
- [20] STARY D, BAJDA M. Structural studies of the Taurine transporter: A potential biological target from the GABA transporter subfamily in

- cancer therapy [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(13): 7339-7339.
- [21] SUN A P, YU Q J, LUO Y, et al. Metabolic engineering of microorganisms for the production of multifunctional non-protein amino acids: γ -aminobutyric acid and δ -aminolevulinic acid [J]. Microbial Biotechnology, 2021, 14(6): 2279-2290.
- [22] ZHOU M, WU Z, DENG D, et al. Effects of taurine on the growth performance, diarrhea, oxidative stress and intestinal barrier function of weanling piglets [J]. Frontiers in Veterinary Science, 2024, 11: 1436282.
- [23] 詹歌,孙梦媛,李军,等.不同产地 5 种菊花氨基酸组成分析及营养价值评价[J].安徽农业大学学报,2019,46(6):908-914.
- [24] 刘存芳,史娟,庞海霞,等.中药材野菊茎叶多糖的单糖组成及其抗氧化活性[J].食品科技,2018,43(5):191-197.
- [25] 阿不力米提·玉麦尔,田浩,李茵萍,等.万寿菊不同部位多酚、黄酮含量及抗氧化活性的研究[J].中国食品添加剂,2023,34(8):162-168.
- [26] LI Y, LIU X J, SU S L, et al. Evaluation of anti-inflammatory and antioxidant effects of chrysanthemum stem and leaf extract on zebrafish inflammatory bowel disease model. [J]. Molecules, 2022, 27(7): 2114.
- [27] DUAN H, WANG D, ZhENG Y, et al. The powerful antioxidant effects of plant fruits, flowers, and leaves help to improve retinal damage and support the relief of visual fatigue. [J]. Heliyon, 2024, 10(14): e34299.