

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240728003

西垂茉莉的营养成分、抗氧化活性及代谢产物分析

何泽娟¹, 操粮骏¹, 王燕华², 王冬钰³, 赵林芬⁴, 张乃明^{5*}, 谭超^{1*}

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 昆明 650201; 2. 丽江职业技术学院现代农业学院, 丽江 674100;
3. 云南农业职业技术学院云安产业学院, 昆明 650000; 4. 云南医药健康职业学院口腔医学院, 昆明 650033;
5. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

摘要: **目的** 探究云南丽江西垂茉莉的营养成分、抗氧化活性及代谢产物。**方法** 以野生西垂茉莉可食用叶片为原料, 首先对其基本营养成分进行研究, 探讨西垂茉莉的抗氧化活性; 基于非靶向代谢组学方法, 采用超高效液相色谱-高分辨质谱(ultra performance liquid chromatography-orbitrap exploris-mass spectrometry, UPLC-OE-MS)测定样品中代谢产物含量; 电感耦合等离子体法(inductively coupled plasma, ICP)测定样品中的矿物质元素含量。**结果** 西垂茉莉中水分含量较高, 灰分、多糖和还原糖、总蛋白、可溶性蛋白、脂肪含量较低; 西垂茉莉表现出良好的抗氧化能力; 分析西垂茉莉样品共检出 33579 个化合物, 匹配度大于等于 80% 的化合物有 228 个, 共计 29 类; 西垂茉莉中共测得 25 种矿质元素, 常量元素钙、钾、磷、硫、镁的含量均高于 100 mg/100 g, 微量元素铁、铝、铜、锰、铬的含量相较于其他微量元素高。**结论** 本研究发现西垂茉莉含有丰富的营养成分, 表现出较强的抗氧化活性, 可为西垂茉莉的进一步开发利用提供参考。

关键词: 西垂茉莉; 营养成分; 抗氧化活性; 超高效液相色谱-高分辨质谱法; 矿物质元素

Analysis of the nutrient composition, antioxidant activity and metabolites of *Clerodendrum griffithianum*

HE Ze-Juan¹, CAO Liang-Jun¹, WANG Yan-Hua², WANG Dong-Yu³,
ZHAO Lin-Fen⁴, ZHANG Nai-Ming^{5*}, TAN Chao^{1*}

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Modern Agriculture, Lijiang College of Vocational and Technical Sciences, Lijiang 674100, China; 3. Yunnan College of Industry, Yunnan College of Agricultural Vocational and Technical Sciences, Kunming 650000, China; 4. College of Dental Medicine, Yunnan Pharmaceutical and Health Care College, Kunming 650033, China; 5. College of Resource and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

ABSTRACT: Objective To study the nutrient composition, antioxidant activity and metabolite of *Clerodendrum griffithianum* from Lijiang, Yunnan Province. **Methods** The edible leaves of wild *Clerodendrum griffithianum* were used as raw materials, and the basic nutrient composition was firstly investigated to explore the antioxidant activity of *Clerodendrum griffithianum*. The metabolite content of the samples was determined by ultra performance liquid

基金项目: 云南省科技人才平台项目(202405AM340004)

Fund: Supported by the Yunnan Science and Technology Talent Platform Project (202405AM340004)

*通信作者: 张乃明, 教授, 主要研究方向为农业面源污染防治。E-mail: zhangnaiming@sina.com

谭超, 副教授, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 13208856843@163.com

*Corresponding author: ZHANG Nai-Ming, Professor, College of Resource and Environment, Yunnan Agricultural University, No.452, Fengyuan Road, Panlong District, Kunming 650201, China. E-mail: zhangnaiming@sina.com
TAN Chao, Associate Professor, College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, No.452, Fengyuan Road, Panlong District, Kunming 650201, China. E-mail: 13208856843@163.com

chromatography-orbitrap exploris-mass spectrometry (UPLC-OE-MS) based on the non-targeted metabolomics approach, and the mineral element content of the samples was determined by inductively coupled plasma (ICP).

Results *Clerodendrum griffithianum* had high moisture content and low content of ash, polysaccharides and reducing sugars, total protein, soluble protein and fat; the samples had good antioxidant capacity; a total of 33579 compounds were detected in the analysed *Clerodendrum griffithianum* samples, and there were 228 compounds with a match of greater than or equal to 80%, with a total of 29 classes; the 25 mineral elements in *Clerodendrum griffithianum* were determined, and calcium, potassium, phosphorus were found. It was found that the content of macronutrients such as calcium, potassium, phosphorus, sulphur and magnesium was higher than 100 mg/100 g, and the content of trace elements such as iron, aluminium, copper, manganese and chromium was higher than other trace elements. **Conclusion** In this study, it is found that *Clerodendrum griffithianum* is rich in nutrients and exhibits strong antioxidant activity, which can provide reference for the further development and utilisation of *Clerodendrum griffithianum*.

KEY WORDS: *Clerodendrum griffithianum*; nutrient composition; antioxidant activity; ultra performance liquid chromatography-orbitrap exploris-mass spectrometry; mineral elements

0 引言

西垂茉莉(*Clerodendrum griffithianum*)又名斑鸠菜,是一种民间野菜、马鞭草科植物,生长于四川、云南的山区。西垂茉莉主要食用部位为幼嫩枝叶或芽尖,可以煮汤或炒食,具有独特的清香,食用时有苦涩味道,采摘时间为每年春夏。西垂茉莉有祛湿利尿、清热解毒、止痛降压等功效,具有药食两用的价值,深受老百姓喜爱。目前针对西垂茉莉的保鲜技术、保鲜条件的相关研究较多^[1],也有其保健茶饮料的研制^[2],但西垂茉莉的营养成分、抗氧化活性、代谢产物、矿物质含量研究相对较少。

电感耦合等离子体法(inductively coupled plasma, ICP)是一种利用高频电磁场产生的等离子体进行分析和处理的技术,电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma-optical emission spectrometry, ICP-OES)和电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)两种方法能保持高精度性、高灵敏度,同时检出限低^[3],目前在矿物质含量分析中使用较为普遍。本研究以云南丽江的野生西垂茉莉为研究对象,通过使用非靶向代谢组学技术,结合超高效液相色谱-高分辨质谱法(ultra performance liquid chromatography-orbitrap exploris-mass spectrometry, UPLC-OE-MS)测定样品中代谢产物含量,应用 ICP-MS 和 ICP-OES 技术共同测定西垂茉莉中的矿物质含量。通过对西垂茉莉的理化成分、营养活性成分、抗氧化活性、代谢物成分、矿物质含量等进行研究,进一步深入了解西垂茉莉的营养品质及代谢产物,旨在为西垂茉莉的开发提供理论依据和数据支持,运用于各类功能性食品开发。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

西垂茉莉,采自云南省丽江市。采集样本后洗净,晾干表面水分后,使用粉碎机粉碎后过 80 目筛备用。

乙酸(色谱纯,美国 Fisher Chemical 公司);牛血清蛋白(bovine serum albumin, BSA)、福林酚、考马斯亮蓝 G250、3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)试剂(分析纯,上海源叶生物科技有限公司);甲醇、乙腈(色谱纯,德国 CNW 科技公司);1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH)(上海梯希爱化成工业发展有限公司);抗坏血酸、葡萄糖、苯酚、亚硝酸钠、硝酸(分析纯,天津市风船化学试剂科技有限公司);2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt, ABTS]试剂(分析纯,美国 Sigma 公司);硫酸亚铁、水杨酸(分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司)。

1.2 仪器与设备

KDY-9810 凯氏定氮仪(北京通润源机电技术有限公司);FA10035X 电子天平(感量 0.01 mg,上海衡际科学仪器有限公司);iCAP RQ 电感耦合等离子体质谱仪、iCAP 7200 HS Duo 电感耦合等离子体发射光谱仪、Orbitrap Exploris 120 高分辨质谱仪、Vanquish 超高效液相仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);WELL Read 酶标仪(上海豫东公司);SFT-TDL-4A 离心机(上海菲恰尔公司);F-020SD 超声仪(深圳福洋公司);HS153 卤素水分测定仪(瑞士 Mettler-Toled 公司);GZX-GF101-3-BS-II 电热恒温鼓风干燥箱(上海跃进医疗器械有限公司);SE-150 高速粉碎机(浙

江省永康市圣象电器有限公司); Phenomenex Kinetex C₁₈ 色谱柱(50 mm×2.1 mm, 2.6 μm, 美国 Phenomenex 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 常规理化成分测定

水分含量测定参照 GB 5009.3—2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》; 灰分含量测定参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》; 多糖含量测定参照 GB/T 40632—2021《竹叶中多糖的检测方法》; 还原糖含量采用 DNS 试剂法, 结合文献[4]进行修改处理测定; 可溶性蛋白含量测定参照 SN/T 3926—2014《出口乳、蛋、豆类食品中蛋白质含量的测定 考马斯亮蓝法》; 总蛋白质含量测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》的凯氏定氮法; 脂肪含量测定参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中第二法; 花青素含量测定参照 DB12/T 885—2019《植物提取物中原花青素的测定 紫外/可见分光光度法》, 所有样品均为粉碎后的新鲜样品, 平行测定 3 次, 结果以湿重表示。

1.3.2 西垂茉莉抗氧化活性测定

(1) DPPH 自由基清除能力

参照 GB/T 39100—2020《多肽抗氧化性测定 DPPH 和 ABTS 法》, 维生素 C 和超纯水分别设定为阳性对照、空白对照, 配制 1000 μg/mL 的新鲜西垂茉莉溶液按 2 倍逐级稀释于各比色管中, 取 0.5 mL 各级稀释液和对照液, 添加 DPPH 溶液至 2.5 mL, 混匀, 避光处理 20 min, 然后在 520 nm 处比色测定, 并按公式(1)计算:

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = (1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}) \times 100\% \quad (1)$$

式中: A_0 , 超纯水与自由基-乙醇溶液反应后的吸光值; A_1 , 样品与自由基-乙醇溶液反应后的吸光值; A_2 , 样品与超纯水反应后的吸光值。

(2) 羟基自由基清除能力

参照文献[5]测定, 首先在试管中加入 1.0 mL 不同质量浓度的待测样品液(或维生素 C 溶液), 再依次加入 1.5 mL 硫酸亚铁溶液、1.0 mL 9 mmol/L 的过氧化氢溶液和 1.0 mL 乙醇-水杨酸溶液, 37 °C 水浴锅中反应 13 min, 在 515 nm 测定吸光度。并按公式(2)计算:

$$\text{羟基自由基清除率}/\% = \frac{B_0 + B_{X0} - B_X}{B_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中: B_X , 样品吸光度; B_0 , 超纯水组吸光度; B_{X0} , 样品对照组吸光度。

(3) 总还原能力

根据文献[6]修改如下: 用超纯水配制不同浓度的西垂茉莉研磨过滤溶液和维生素 C 溶液为待测溶液, 取待测溶液 0.5 mL, 加入磷酸盐缓冲液至 2.5 mL, 然后加入质量分数 1% 的铁氰化钾 2.5 mL, 混合均匀, 52 °C 下恒温水浴 25 min, 再加入质量分数 9% 的三氯乙酸至 7.5 mL, 混匀,

静置 12 min, 立即从试管中取 2.5 mL 上清液, 加入超纯水至 5 mL, 并加入 0.5 mL 0.1% 的氯化铁溶液, 混匀。在 705 nm 处比色测定, 以吸光值的大小来表示还原力。

1.3.3 西垂茉莉代谢产物含量的测定

样品制备: 称取样品, 获取 0.5 mL 内标混合物提取液, 以甲醇:乙腈:水=2:2:1 ($V:V:V$) 的比例配置溶液; 研磨 5 min、超声 4 min, 重复进行 3 次操作; 将其放置于 -40 °C 冰箱中, 持续冷冻 1.5 h; 样品在冷冻离心机 4 °C 环境下, 进行 16 min 的 12000 r/min 离心处理; 取上清液, 将其置于样品瓶内备测。

使用超高效液相色谱仪对代谢化合物进行色谱分离, 色谱柱使用 Phenomenex Kinetex C₁₈ (50 mm×2.1 mm, 2.6 μm)。液相色谱流动相 A 相: 0.01% 乙酸水, B 相为异丙醇:乙腈(1:1, $V:V$)。样品盘温度: 4 °C; 进样体积: 2 μL。Orbitrap Exploris 120 质谱仪可以在控制软件(Xcalibur 4.4)操控下进行一级、二级质谱数据采集。详细质谱参数如下: 鞘气流速: 50 Arb; 辅助气流速: 15 Arb; 温度: 320 °C; 质谱分辨率: 15000; 碰撞能: 阶梯归一化碰撞能量 20/30/40; 射入电压: 3.8 kV 或 -3.4 kV。

数据处理: 原始数据经软件转成 mzXML 格式后, 使用自主编写的 R 程序包(内核为 XCMS)进行色谱峰处理, 再搭配自建的质谱资料库进行物质注释, 算法打分的 Cutoff 值设为 0.3。

1.3.4 西垂茉莉矿物质元素含量测定

矿物质元素的测定方法: 参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》, 称取适量试样(精确至 0.0001 g)于聚四氟乙烯消解内罐, 加硝酸 5 mL 浸泡过夜。盖好内盖, 旋紧不锈钢外套, 放入恒温干燥箱, 80 °C 保持 1~2 h, 120 °C 保持 1~2 h, 再升至 160 °C, 保持 4 h, 在箱内自然冷却至室温, 将消化液洗入 25 mL 容量瓶中, 用少量 1% 硝酸溶液洗涤内罐和内盖 3 次, 洗液合并至容量瓶中并用 1% 硝酸定容至刻度, 混匀备用。

1.4 数据处理

测定均重复 3 次, 采用 Excel 2016 和 IBM SPSS Statistics 27 软件进行数据处理, 结果以平均值±标准差表示, 采用 GraphPad Prism 10.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 西垂茉莉鲜样的常规理化成分含量

西垂茉莉鲜样的理化成分含量如表 1, 样品中水分含量较高, 达到(83.54±0.41) g/100 g, 与新鲜甘薯叶、白沙蒿水分含量相当。西垂茉莉鲜样中灰分含量为(5.09±0.02) g/100 g, 与野苋菜灰分含量 4.4 g/100 g 相差不大, 远高于新鲜朝鲜蓊灰分含量 0.8 g/100 g。西垂茉莉鲜样中多糖和还原糖含量较低, 仅为(0.16±0.01) g/100 g 和(0.15±0.01) g/100 g。总蛋白含量为(5.26±0.18) g/100 g, 可溶性蛋白含量为(5.02±0.05) g/100 g

约占总蛋白含量的95.44%。脂肪含量较低,为(0.71±0.09) g/100 g,与新鲜石头菜的脂肪含量 0.7 g/100 g 相差不大。在西垂茉莉鲜样中未检测到花青素。

表 1 西垂茉莉鲜样的理化成分含量(g/100 g)
Table 1 Physicochemical content of *Clerodendrum griffithianum* (g/100 g)

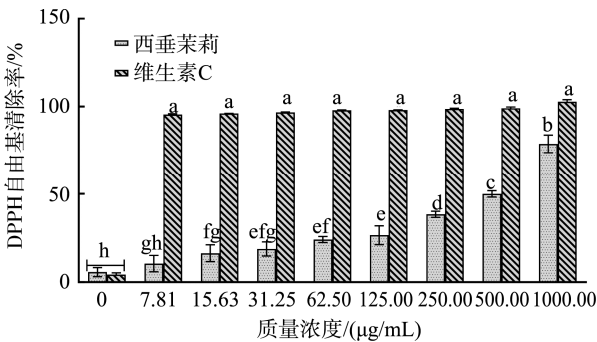
营养成分	西垂茉莉鲜样	《中国食物成分表标准版第六版》 第一册、第二册
水分	83.54±0.41	甘薯叶、白沙蒿(鲜)84.0
灰分	5.09±0.02	野苋菜(鲜)4.4、朝鲜蓊(鲜)0.8
多糖	0.16±0.01	
还原糖	0.15±0.01	
可溶性蛋白质	5.02±0.05	
总蛋白质	5.26±0.18	蒲公英叶(鲜) 4.8
脂肪	0.71±0.09	石头菜(鲜) 0.7
花青素	NA	

注: NA 表示无此项,表 2 同。

2.2 西垂茉莉的抗氧化活性

2.2.1 DPPH 自由基清除能力

DPPH 自由基在溶液中呈现紫色,当与具有抗氧化能力的化合物接触时,这些化合物会转移一个电子给 DPPH 自由基,使其还原为无色的 DPPH-H。通过测量溶液颜色或吸光度的变化,可以间接评价样品抗氧化能力的强弱^[7]。如图 1 所示,西垂茉莉质量浓度在 0~1000.00 μg/mL 范围内时,DPPH 自由基清除率随着质量浓度的增加而呈上升趋势,从图中可以看出,西垂茉莉样品溶液的 DPPH 自由基清除率低于阳性对照组(维生素 C)。当西垂茉莉提取液质量浓度达到 1000.00 μg/mL 时,DPPH 自由基清除率达到 79%,其半抑制浓度(half maximal inhibitory concentration, IC₅₀)为 783 μg/mL,低于金银花多糖的 IC₅₀值(1405 μg/mL)^[8],表明西垂茉莉提取液的 DPPH 自由基清除能力较金银花多糖强。



注: 不同小写字母表示同一样品不同质量浓度差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示同一样品不同质量浓度无显著性差异($P>0.05$),图 2、3 同。

图 1 西垂茉莉提取液的 DPPH 自由基清除率
Fig.1 DPPH radical scavenging rate of *Clerodendrum griffithianum* extracts

2.2.2 西垂茉莉羟基自由基清除能力

在生物体内,羟基自由基也是一种极具活性的自由基,它可以与生物分子(如蛋白质、脂质和核酸等)发生反应,导致 DNA 断裂、蛋白质损伤和细胞膜的氧化损伤等,这对于人体健康和疾病的发展都具有重要影响。如图 2 所示,西垂茉莉提取液对羟基自由基清除率随着其质量浓度的增加呈上升趋势,在质量浓度达到 1000.00 μg/mL 时,西垂茉莉提取液对羟基自由基清除率达 43%,其 IC₅₀ 值为 1096 μg/mL,远低于紫苏叶总黄酮 IC₅₀ 值^[9],但西垂茉莉提取液羟基自由基清除率整体低于维生素 C 的羟基自由基清除率。

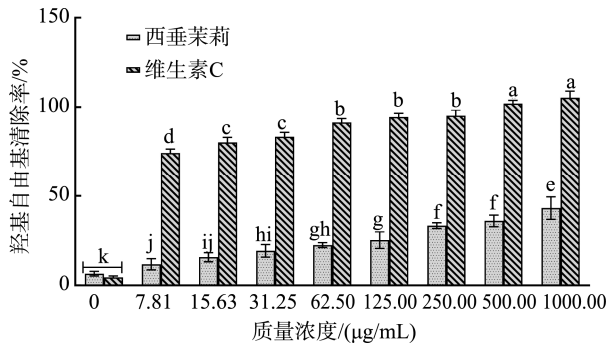


图 2 西垂茉莉提取液羟基自由基清除率
Fig.2 Hydroxyl radical scavenging rate of *Clerodendrum griffithianum* extracts

2.2.3 总还原能力

西垂茉莉的总还原能力如图 3 所示。从图中可以看出,随着西垂茉莉提取液质量浓度的升高,其总还原力呈上升趋势,当质量浓度达到 1000.00 μg/mL 时,总还原力达到 1.01,低于阳性对照维生素 C。与文献中报道的其他植物相比,在质量浓度为 1000.00 μg/mL 时,其还原能力与食叶草相近^[10]。

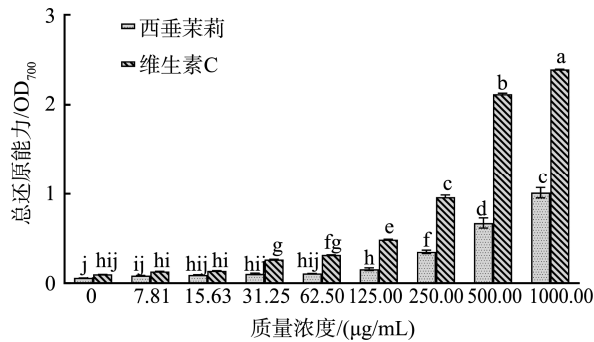


图 3 西垂茉莉提取液总还原能力
Fig.3 Total reducing power of *Clerodendrum griffithianum* extracts

2.3 西垂茉莉的代谢化合物

采用 UPLC-OE-MS 测定了西垂茉莉中代谢化合物,5 个平行样品共检出 33579 个化合物,经过筛选二级质谱匹配度大于等于 80%的化合物有 228 个,部分化合物见表 2。

经分类共计 29 类, 有亚麻酸及其衍生物(25.89%)、有机酸及其衍生物(11.30%)、酮类(10.84%)、无机酸(9.64%)、脂肪酸和结合物(8.43%)、酚类(6.96%)、甘油磷脂(6.58%)、脂肪酸酰胺(5.40%)、萜类(4.27%)、碳水化合物(3.31%)、香豆素及其衍生物(2.12%)、氨基酸、肽和类似物(1.77%)、酯类(0.67%)以及其他物质, 见图 4。

表 2 西垂茉莉的部分代谢化合物
Table 2 Part of the metabolic compounds of *Clerodendrum griffithianum*

序号	化合物种类	英文名称	中文名称	CAS	相对百分含量/%
1	氨基酸、肽和类似物	fencloine	DL-4-氯苯丙氨酸	7424-00-2	0.21
2	氨基酸、肽和类似物	1-deoxy-1-(N6-lysino)-D-fructose	DL-天门冬氨酸	617-45-8	0.13
3	氨基酸、肽和类似物	L-allo-isoleucine	L-别异亮氨酸	1509-34-8	0.11
4	氨基酸、肽和类似物	L-aspartic acid	L-天冬氨酸	56-84-8	0.81
5	氨基酸、肽和类似物	N-acetyl-L-leucine	N-乙酰-L-亮氨酸	1188-21-2	0.25
6	碳水化合物类	luteolin 7-O-glucuronide	木犀草素-7-O-葡萄糖醛酸苷	29741-10-4	1.67
7	碳水化合物类	glucaric acid	葡糖二酸	25525-21-7	0.20
8	碳水化合物类	lactobionic acid	乳糖酸	96-82-2	1.10
9	碳水化合物类	kaempferol 3-O-β-D-glucuronide	山奈酚葡萄糖醛酸苷	22688-78-4	0.19
10	酮类	(2R)-6,8-diglucopyranosyl-4',5,7-tri hydroxyflavanone	(2R)-6,8-二葡萄糖吡喃基-4',5,7-三羟基黄酮	81446-26-6	0.17
11	酮类	2',4'-dihydroxyacetophenone	2,4-二羟基苯乙酮	89-84-9	0.16
12	酮类	5-hydroxy-2-phenyl-4H-chromen-4-one	5-羟基黄酮	N/A	1.45
13	酮类	hispidulin	高车前素	1447-88-7	0.89
14	酮类	chrysoeriol	金圣草(黄)素	491-71-4	0.67
15	酮类	luteolin	木犀草素	491-70-3	5.12
16	酮类	hydroxygenkwanin	羟基芫花素	20243-59-8	0.15
17	酮类	apigenin-7-glucuronide	芹菜素-7-葡萄糖醛酸	29741-09-1	0.39
18	酮类	vicenin 2	维采宁-2	23666-13-9	0.32
19	酮类	genkwanin	芫花素	437-64-9	1.25
20	酚类	2,2,5,7,8-pentamethyl-6-chromanol	3,4-二氢-2,2,5,7,8-五甲基-2H-1-苯并吡喃-6-酚	950-99-2	0.19
21	酚类	gingerol	姜酚	58253-27-3	1.53
22	酚类	sesamol	芝麻酚	533-31-3	5.24
23	萜类	7beta-hydroxylathyrol	7-羟基千金子二萜醇	34208-98-5	0.40
24	萜类	forskolin	佛司可林	66575-29-9	0.29
25	萜类	kanshone C	甘松香酮 C	117634-64-7	1.21
26	萜类	ingenol	巨大戟醇	30220-46-3	0.29
27	萜类	glaucocalyxin A	蓝萼甲素	79498-31-0	0.12
28	萜类	lathyrol	千金子二萜醇	34420-19-4	1.89
29	有机酸及其衍生物	2-hydroxy-3-methylbutyric acid	2-羟基-3-甲基丁酸	4026-18-0	0.53
30	有机酸及其衍生物	leucinic acid	2-羟基-4-甲基戊酸	498-36-2	0.20
31	有机酸及其衍生物	2-isopropylmalic acid	2-异丙基苹果酸	3237-44-3	1.30
32	有机酸及其衍生物	alpha-ketoisovaleric acid	3-甲基-2-氧丁酸	759-05-7	0.16
33	有机酸及其衍生物	hydroxypyruvic acid	3-羟基-2-氧代丙酸	1113-60-6	1.71
34	有机酸及其衍生物	3-hydroxysebacic acid	3-羟基癸二酸	73141-46-5	0.19
35	有机酸及其衍生物	4-hydroxybenzoic acid	4-羟基苯甲酸	99-96-7	0.40
36	有机酸及其衍生物	4-dodecylbenzenesulfonic acid	4-十二烷基苯磺酸	N/A	2.98
37	有机酸及其衍生物	3-(3,4-dihydroxy-5-methoxy)-2-propenoic acid	5-羟基阿魏酸	1782-55-4	0.24
38	有机酸及其衍生物	pyruvic acid	丙酮酸	127-17-3	0.15
39	有机酸及其衍生物	terephthalic-acid	对苯二甲酸	100-21-0	0.26
40	有机酸及其衍生物	succinic acid	琥珀酸	110-15-6	0.26
41	有机酸及其衍生物	pyropheophorbide-a	焦脱镁叶绿酸 a	N/A	0.34
42	有机酸及其衍生物	phthalic acid	邻苯二甲酸	88-99-3	0.14

表 2(续)

序号	化合物种类	英文名称	中文名称	CAS	相对百分含量/%
43	有机酸及其衍生物	2-hydroxycinnamic acid	邻香豆酸	583-17-5	0.15
44	有机酸及其衍生物	citric acid	柠檬酸	77-92-9	1.80
45	有机酸及其衍生物	cis-9,10-epoxystearic acid	消旋顺-9,10-环氧硬脂酸	24560-98-3	0.15
46	无机酸	hydrogen phosphate	磷酸	14066-19-4	9.64
47	亚麻酸及其衍生物(长链)	alpha-dimorphecolic acid	(9S,10E,12Z)-9-羟基十八碳-10,12-二烯酸	73543-67-6	0.95
48	亚麻酸及其衍生物(长链)	(9S,10E,12Z,15Z)-9-hydroxy-10,12,15-octadecatrienoic acid	(9S,10E,12Z,15Z)-9-羟基-10,12,15-十八碳三烯酸	89886-42-0	0.24
49	亚麻酸及其衍生物(长链)	alpha-linolenic acid	α -亚麻酸	463-40-1	24.70
50	脂肪酸和结合物	DL-3-phenyllactic acid	DL-B-苯乳酸	828-01-3	0.38
51	脂肪酸和结合物(短链)	glyoxylic acid	乙醛酸	298-12-4	0.11
52	脂肪酸和结合物(长链)	16-hydroxy hexadecanoic acid	16-羟基十六酸	506-13-8	0.20
53	脂肪酸和结合物(长链)	fAHFA (18:3/18:2)	羟基脂肪酸支链脂肪酸酯	N/A	1.70
54	脂肪酸和结合物(长链)	16-methylheptadecanoic acid	异硬脂酸	2724-58-5	0.82
55	脂肪酸和结合物(长链饱和)	palmitic acid	棕榈酸	1957/10/3	2.83
56	脂肪酸和结合物(中链)	6-hydroxyhexanoic acid	6-羟基己酸	1191-25-9	0.47
57	脂肪酸和结合物(中链)	hydroxyisocaproic acid	L-白氨酸	13748-90-8	0.30
58	脂肪酸和结合物(中链)	methylglutaric acid	甲基戊二酸	626-51-7	0.42
59	脂肪酸和结合物(中链)	cis,cis-muconic acid	顺式-己二烯二酸	1119-72-8	0.74
60	脂肪酸和结合物(中链)	suberic acid	辛二酸	505-48-6	0.13
61	脂肪酸酰胺(长链)	octadecanamide	硬脂酰胺	124-26-5	4.70
62	脂肪酸酰胺(长链)	oleamide	油酸酰胺	301-02-0	0.19
63	脂肪酸酰胺(长链)	palmitic amide	棕榈酰胺	629-54-9	0.47
64	香豆素及其衍生物	5,7-dihydroxy-4-methylcoumarin	5,7-二羟基-4-甲基香豆素	2107-76-8	1.09
65	香豆素及其衍生物	wedelolactone	蟛蜞菊内脂	524-12-9	0.78
66	香豆素及其衍生物	skimmin	茵芋苷	93-39-0	0.20

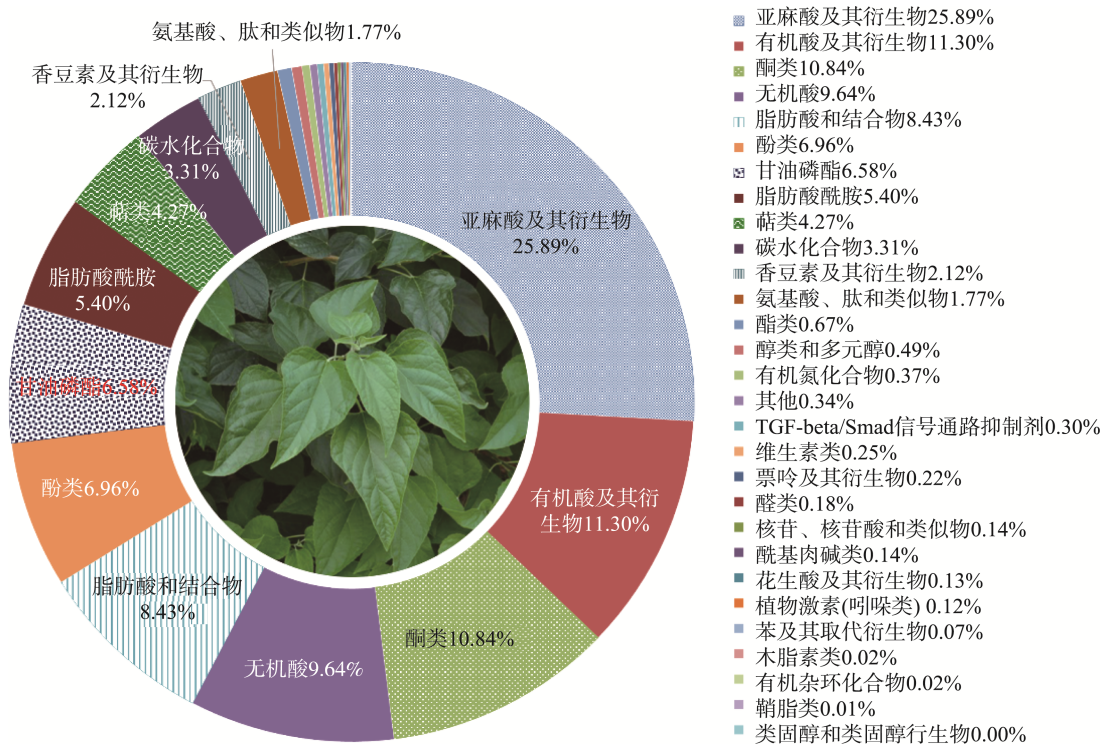


图 4 西垂茉莉的代谢化合物
Fig.4 Metabolic compounds of *Clerodendrum griffithianum*

西垂茉莉中亚麻酸及其衍生物含量最高, 达 25.89%。其中 α -亚麻酸占 24.70%, 亚麻酸是一种重要的不饱和脂肪酸, 也被称为 ω -3 脂肪酸, 是人体健康必需却又普遍缺乏的一种必需营养素。 α -亚麻酸具有预防心脑血管疾病^[11]、调节血脂、降低临界性高血压、抑制癌症的发生和转移、抑制过敏反应、抗炎、抑制衰老、增强智力等作用^[12]。

有机酸是指含有碳元素的酸性物质, 它们通常由碳和氢原子构成。西垂茉莉中含量较高的有机酸有柠檬酸(1.80%)、2-异丙基苹果酸(1.30%)、5-羟基阿魏酸(0.24%)。柠檬酸存在于植物水果和蔬菜的动物组织中, 如血液、骨骼和肌肉。对于生物体来说, 柠檬酸是三羧酸循环中必需的羧酸之一, 柠檬酸由于与氧化还原信号通路(细胞抗氧化反应的调节)的相互作用, 具有抗氧化和抗炎特性^[13]。2-异丙基苹果酸是亮氨酸生物合成的中间代谢产物, 存在于白葡萄酒的代谢物谱中^[14-15], 能螯合铝离子, 阻止铝离子进入细胞, 从而具有优越的铝离子解毒能力^[16]。5-羟基阿魏酸具有高抗氧化及抗炎、抗菌活性^[17], 同时有报道表明 5-羟基阿魏酸对癌症治疗有效^[18]。

西垂茉莉的黄酮类化合物以木犀草素含量占比最多, 达 5.12%。该化合物主要存在于蔬菜和水果中, 含量丰富的食物包括西兰花、青辣椒、洋葱叶、胡萝卜、白萝卜、芹菜^[19]。木犀草素具有抗氧化、抗菌、抗肿瘤、预防癌症的特性^[20], 并被发现可通过抑制炎症细胞因子和介质的产生而具有显著的抗炎特性^[21]。木犀草素的心脏保护作用可以通过减少两种主要的促炎细胞因子 TNF- α 和 IL-18 来实现, 这两种细胞因子与肥胖相关的心脏功能障碍有关^[22]。西垂茉莉中茺花素含量也比较高, 达 1.25%, 茺花素是一些药用植物中常见的甲基化类黄酮, 茺花素具有多种药理作用, 包括止咳、祛痰、抗菌、抗疟原虫^[23], 也有报道表明茺花素通过介导 miR-101/MKP-1/MAPK 通路来抑制脂多糖(lipopolysaccharides, LPS)激活的 RAW264.7 巨噬细胞中炎症介质的产生^[24]。

西垂茉莉中的脂肪酸和结合物以棕榈酸占比最多, 达 2.83%。棕榈酸是人体内常见的脂肪酸之一, 占人体总脂肪酸的 20%~30%, 可通过肉类和乳制品等在饮食中被摄入, 也可将氨基酸、碳水化合物和其他脂肪酸作为原料, 在机体中内源合成。据报道, 棕榈酸具有多种药理特性, 如抗炎、镇痛、减细胞毒性等^[25-26], 在维持细胞膜磷脂平衡方面也扮演重要的角色。有研究发现棕榈酸显著抑制了哈氏弧菌、副溶血弧菌等弧菌属的生物膜, 并通过转录组学揭示了棕榈酸通过调控细菌的群体感应调节系统(bacterial quorum-sensing system, QS)系统介导的应答来抑制生物膜合成, 同时发现棕榈酸减弱了弧菌在海水虾幼虫的肠道定值能力^[27]。西垂茉莉中 6-羟基己酸含量较高, 达 0.47%。6-羟基己酸能够抑制人牙龈成纤维细胞中促炎细胞因子的产生, 也可以在不改变血清胰岛素水平的情况下显著改善肥胖相关的胰岛素耐受不良和空腹血糖升高^[28]。

西垂茉莉的酚类化合物中以芝麻酚和姜酚含量占比比较高, 分别占 5.24%和 1.53%。芝麻酚是一种天然酚类化合物, 芝麻酚是一种具有抗氧化、抗诱变、抗肝毒性、抗衰老和化学预防特性的代谢调节剂^[29]。也有报道表明, 芝麻酚通过抑制 IL-1 β 和 TNF- α 等多种促炎细胞因子以及下调 NF- κ B 和 MAPK 等多种信号通路来介导其抗炎作用^[30]。姜酚具有解热、强心、抗炎、镇痛、细胞毒性、抗癌、抗氧化等药理活性^[31], 可用于治疗类风湿性关节炎、恶心、癌症和糖尿病^[32]。

在西垂茉莉中还检测出 6.58%的甘油磷脂、5.40%的脂肪酸酰胺、4.27%的萜类、3.31%的碳水化合物类、2.12%的香豆素及其衍生物。甘油磷脂是细胞膜的主要成分, 在维持细胞和亚细胞结构的完整性和功能方面发挥着重要作用, 并提供重要的信号分子^[33]。脂肪酸酰胺是由脂肪酸和胺基团通过酰胺键连接而成的。脂肪酸酰胺参与构建细胞膜结构, 保护细胞内部免受外界环境的影响, 还参与信号传导和细胞凋亡等生物过程, 并调节细胞的生长和分化。萜类是一类天然有机化合物, 也被称为萜烯, 由多个异戊二烯单元连接而成, 通常具有特殊的碳骨架和多种不同的功能基团。萜烯已被证实具有抗炎、抗肿瘤、抗菌、抗氧化和其他药理作用^[34]。碳水化合物是一类由碳、氢和氧元素组成的有机化合物, 是生物体内最主要的能量来源, 也是构成生命体系的重要基础分子^[35]。香豆素是一类天然存在的 O-杂环化合物, 因其天然和合成形式的药理作用而得到广泛认可, 具有抗真菌、抗菌、抗炎、抗氧化、抗胆碱酯酶、抗糖尿病、抗肿瘤、抗人类免疫缺陷病毒、抗凝血和抗癌活性^[36]。

2.4 西垂茉莉的矿物质元素含量

矿物质在体内难以直接合成, 需要外部摄取配合。表 3 信息可知, 西垂茉莉中共测得 25 种矿质元素, 其中常量元素钙、钾、磷、硫、镁的含量均高于 100 mg/100 g, 微量元素铁、铝、铜、锰、钠的含量相较其他微量元素高。西垂茉莉的钙、铁含量均高于野生芥菜和蕨菜^[37-38]。西垂茉莉具有较高的补钙、铁价值, 钙含量约为全脂纯牛奶的 5 倍, 与豆腐干和虾米相当, 对人体健康有重要作用^[39]。铁含量约为猪肝的 3 倍, 与干黑木耳和干螺旋藻相当。必需微量元素锌对人有重要作用, 缺锌会导致人体生长发育迟缓, 还会导致一系列皮肤疾病。西垂茉莉中锌的含量与干松茸和梭子蟹接近, 是良好的补锌食品。必需微量元素铜的含量高于《中国食物成分表标准版第六版》第一册中所有蔬菜类及制品。西垂茉莉的钠含量与紫芦笋和干豌豆接近, 小于 120 mg/100 g, 属于低钠食品。硒是人体必需的微量元素, 在维持人体生理稳态方面具有重要作用, 也能够缓解心血管疾病。一般蔬菜中硒的含量小于 1 μ g/100 g, 西垂茉莉中硒的含量超过脱水大蒜与咸鸭蛋接近, 属高硒蔬菜。虽然与其他蔬菜相比西垂茉莉有着高钙、铁、锰、硒, 低钠, 富含多种矿质元素的明显优

表 3 西垂茉莉的矿物质元素含量
Table 3 Mineral content of *Clerodendrum griffithianum*

矿质元素	西垂茉莉	芥菜 ^[37]	蕨菜 ^[38]	《中国食物成分表标准版第六版》第一册、第二册
钙	533.00±27.00	147.00	255.00	全脂纯牛奶 107.00, 豆腐干 447.00, 虾米 555.00
钾	475.00±9.00		4592.00	鲜菠菜 311.00, 山楂干 440.00
磷	416.00±23.00			黄豆 418.00, 干榛子 422.00
硫	306.67±0.44			
镁	195.00±6.00		349.00	脱水菠菜 183.00, 干红辣椒 170.00
铁 ^{***}	80.30±3.30	3.20	8.20	干黑木耳 97.40, 猪肝 23.20, 干螺旋藻 88.00
铝 [*]	24.66±1.16			
铜 ^{***}	23.60±0.57			带皮荞麦 14.05, 脱水油菜 3.06, 干松茸 10.30
锰 ^{**}	11.95±0.46		4.32	生松子 10.35, 黑芝麻 17.85
钠	9.00±0.10			紫芦笋 9.20, 干豌豆 9.70
铬 ^{***}	5.86±0.20			
锌 ^{***}	5.36±0.27	0.28		干松茸 5.49, 梭子蟹 5.50
钡	3.69±0.13			
硼 ^{**}	3.05±0.17			
钛	2.24±0.09			
锶	1.26±0.05			
镍 ^{**}	0.59±0.02			
锡 [*]	0.46±0.02			
镉 [*]	0.30±0.01			
锂 [*]	0.04±0.00			
钴 ^{***}	0.04±0.00			
铅 [*]	0.04±0.00			
钼 ^{***}	0.03±0.00			
硒 ^{***}	23.05±1.02			咸鸭蛋 24.04, 脱水大蒜 19.30
砷 [*]	0.02±0.00			

注: 硒的单位 μg/100 g, 其他矿质元素单位 mg/100 g, ***为 1990 年联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)/世界卫生组织(World Health Organization, WHO)/国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA) 3 个国际组织的专家委员会认定的必需微量元素; **为可能必需微量元素; *为具有潜在毒性微量元素。芥菜、野生食用蕨菜的矿质含量均以干样计。

势。值得关注的是, 需要充分结合中国推荐摄入量(recommended nutrient intake, RNI)指标, 以 14~80 岁群体作为标准范围, 计算铜的 RNI 为 0.8 mg/d, 食用鲜西垂茉莉每日不宜超过 20 g。此外, 西垂茉莉铝的含量为 (24.66±1.16) mg/100 g, 建议适量食用。

3 结 论

野生西垂茉莉含有丰富的营养成分, 包括蛋白质、多糖、脂肪和矿物质, 以及具有生物活性的代谢产物, 表现出了较强的抗氧化活性。目前, 西垂茉莉仅以鲜销为主, 随着西垂茉莉资源的保鲜保活、功能因子筛选和精深加工等各项相关研究的逐步深入, 其潜在价值将得到充分挖掘和利用。今后可以围绕西垂茉莉的功效成分进行研究, 以充分地将西垂茉莉进行利用, 将西垂茉莉价值的最大化,

生产具有高附加值的深加工产品。

参考文献

[1] 郑毅, 伍斌, 邓建梅, 等. 斑鸠菜臭氧湿冷保鲜研究[J]. 北方园艺, 2011(14): 148–151.
ZHENG Y, WU B, DENG JM, et al. Research on ozone wet-cooling for preservation of *Clerodendrum griffithianum* [J]. North Horticulture, 2011(14): 148–151.

[2] 郑毅, 伍斌, 黄德毅. 斑鸠菜保健茶饮料的研制[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 211–213, 222.
ZHENG Y, WU B, HUANG DY. Development of a health tea beverage from *Clerodendrum griffithianum* [J]. Food Machinery, 2013, 29(2): 211–213, 222.

[3] 张婷. 三种抗逆有机物对斑玉蕨生长影响及富集微量元素研究[D]. 连云港: 江苏海洋大学, 2022.
ZHANG T. Study on the effect of three kinds of anticorrosive organic

- matter on the growth and enrichment of trace elements of Spotted Yucca mushrooms [D]. Lianyungang: Jiangsu Ocean University, 2022.
- [4] 王共明. 仿刺参卵多肽、多糖的制备及多肽活性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- WANG GM. Preparation of polypeptides and polysaccharides and peptide activity of ginseng egg mimic [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.
- [5] 李苏红, 赵起越, 于思琦, 等. 马铃薯蛋白酶抑制剂酶解产物超滤组分的抗氧化活性与结构特征[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(9): 134–143.
- LI SH, ZHAO QY, YU SQ, *et al.* Antioxidant activity and structural characteristics of ultrafiltration fractions of potato protease inhibitor enzymatic products [J]. J Chin Cere Oils Asso, 2023, 38(9): 134–143.
- [6] 李宪秀, 何涛, 杨帆, 等. 食叶草的营养活性成分含量及生物活性分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(3): 307–315.
- LI XX, HE T, YANG F, *et al.* Nutritional active ingredient content and bioactivity analysis of leaf-eating grasses [J]. Food Ind Sci Technol, 2023, 44(3): 307–315.
- [7] 罗丽, 宋礼, 张晓梅. 基于斑马鱼模型和体外抗氧化评价甘南牦牛乳抗氧化效果 [J/OL]. 食品与发酵工业, 1–9. [2024-03-11]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038164> [2024-08-26]
- LUO L, SONG L, ZHANG XM. Evaluation of antioxidant effect of Gannan yak milk based on zebrafish model and *in vitro* antioxidant [J/OL]. Food Ferment Ind, 1–9. [2024-03-11]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.038164> [2024-08-26].
- [8] 梁金月, 周洪鑫, 张雨晴, 等. 金银花多酚和多糖同步提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品添加剂, 2024, 35(3): 1–10.
- LIANG JY, ZHOU HX, ZHANG YQ, *et al.* Optimisation of simultaneous extraction process of polyphenols and polysaccharides from honeysuckle and its antioxidant activity [J]. China Food Addit, 2024, 35(3): 1–10.
- [9] 尹丽, 孟学林. 正交试验法优化紫苏叶中总黄酮提取工艺及体外抗氧化活性研究[J]. 饲料研究, 2024, 47(4): 99–103.
- YIN L, MENG XL. Optimisation of total flavonoids extraction process and *in vitro* antioxidant activity in *Perilla frutescens* leaves by orthogonal test [J]. Feed Res, 2024, 47(4): 99–103.
- [10] 胡高爽, 刘紫洋, 张亦琴, 等. 食叶草的营养成分及应用价值研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(16): 208–212.
- HU GS, LIU ZY, ZHANG YQ, *et al.* Progress of research on the nutrient composition and application value of leaf-eating grasses [J]. Food Res Dev, 2023, 44(16): 208–212.
- [11] 陈福妮, 王卫飞, 穆利霞, 等. 6 种富含 α -亚麻酸食用油脂的主要组成成分及消化特征研究进展[J]. 中国油脂, 2024, 49(1): 60–66.
- CHEN FN, WANG WF, MU LX, *et al.* Progress in the study of the main components and digestive characteristics of 6 α -linolenic acid-rich edible fats and oils [J]. China Oils Fats, 2024, 49(1): 60–66.
- [12] 党照, 王利民, 齐燕妮, 等. 基因型与环境对胡麻产量和脂肪酸的影响[J]. 分子植物育种, 2024, 22(3): 881–891.
- DANG Z, WANG LM, QI YN, *et al.* Effects of genotype and environment on yield and fatty acid profile of caraway [J]. Mol Plant Breed, 2024, 22(3): 881–891.
- [13] KSIĄŻEK E. Citric acid: Properties, microbial production, and applications in industries [J]. Molecules, 2023, 29(1): 22.
- [14] STRASSMAN M, CECI LN. Enzymatic formation of α -isopropylmalic acid, an intermediate in leucine biosynthesis [J]. J Biol Chem, 1963, 238(7): 2445–2452.
- [15] BAE JE, MIN D, CHOI JY, *et al.* Primary ciliogenesis by 2-isopropylmalic acid prevents PM_{2.5}-induced inflammatory response and MMP-1 activation in human dermal fibroblasts and a 3-D-skin model [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(20): 10941.
- [16] SUZUKI T, TAMURA S, NAKANISHI H, *et al.* Reduction of aluminum toxicity by 2-isopropylmalic acid in the budding yeast *Saccharomyces cerevisiae* [J]. Biol Trace Elem Res, 2007, 120: 257–263.
- [17] LI D, RUI Y, GUO S, *et al.* Ferulic acid: A review of its pharmacology, pharmacokinetics and derivatives [J]. Life Sci, 2021, 284: 119921.
- [18] THONG NM, VAN BM, VO QV, *et al.* Multitarget mechanisms of 5-hydroxy ferulic acid for cancer prevention: A computational chemistry study [J]. Chem Rec, 2023, 8(31): e202301437.
- [19] MIEAN KH, MOHAMED S. Flavonoid (myricetin, quercetin, kaempferol, luteolin, and apigenin) content of edible tropical plants [J]. J Agric Food Chem, 2001, 49(6): 3106–3112.
- [20] ALMATROODI SA, ALMATROUDI A, ALHARBI HOA, *et al.* Effects and mechanisms of luteolin, a plant-based flavonoid, in the prevention of cancers via modulation of inflammation and cell signaling molecules [J]. Molecules, 2024, 29(5): 1093.
- [21] SEELINGER G, MERFORT I, SCHEMPF CM. Anti-oxidant, anti-inflammatory and anti-allergic activities of luteolin [J]. Planta Med, 2008, 74(14): 1667–1677.
- [22] ABU-ELSAAD N, EL-KAREF A. The falconoid luteolin mitigates the myocardial inflammatory response induced by high-carbohydrate/high-fat diet in wistar rats [J]. Inflammation, 2018, 41: 221–231.
- [23] LI Y, HONG J, LI H, *et al.* Genkwanin nanosuspensions: A novel and potential antitumor drug in breast carcinoma therapy [J]. Drug Deliv, 2017, 24(1): 1491–1500.
- [24] GAO Y, LIU F, FANG L, *et al.* Genkwanin inhibits proinflammatory mediators mainly through the regulation of miR-101/MKP-1/MAPK pathway in LPS-activated macrophages [J]. PLoS ONE, 2014, 9(5): e96741.
- [25] DE SO, VALENZUELA CA, BAKER EJ, *et al.* Palmitoleic acid has stronger anti-inflammatory potential in human endothelial cells compared to oleic and palmitic acids [J]. Mol Nutr Food Res, 2018, 62(20): 1800322.
- [26] ALKAN HF, ALTEA-MANZANO P, FENDT SM. Palmitic acid: Enabling the tumor's nerves [J]. Cell Metab, 2022, 34(1): 7–9.
- [27] 韩洁. 棕榈酸对溶藻弧菌的抑菌机理及毒力调控机制研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2024.
- HAN J. Research on the inhibitory mechanism and virulence regulation mechanism of palmitic acid on *Vibrio alginolyticus* [D]. Xian: Shanxi University of Science and Technology, 2024.
- [28] SEBAG SC, HAO M, QIAN Q, *et al.* A medium chain fatty acid, 6-hydroxyhexanoic acid (6-HHA), protects against obesity and insulin resistance [J]. Acta Pharm Sin B, 2024, 14(4): 1892.
- [29] MAJDALAWIEH AF, MANSOUR ZR. Sesamol, a major lignan in sesame seeds (*Sesamum indicum*): Anti-cancer properties and mechanisms of action [J]. Eur J Pharmacol, 2019, 855: 75–89.
- [30] AMIN FM, AHARI SH, YOUSEF SM, *et al.* Sesamol: A lignan in sesame seeds with potent anti-inflammatory and immunomodulatory properties [J]. Eur J Pharmacol, 2023, 960: 176163.
- [31] GONZALEZ-GONZALEZ M, YERENA-PRIETO BJ, CARRERA C, *et*

- al.* Optimization of an ultrasound-assisted extraction method for the extraction of gingerols and shogaols from ginger (*Zingiber officinale*) [J]. *Agronomy*, 2023, 13(7): 1787.
- [32] SHARMA S, SHUKLA MK, SHARMA KC, *et al.* Revisiting the therapeutic potential of gingerols against different pharmacological activities [J]. *N-S Arch Pharmacol*, 2023, 396(4): 633–647.
- [33] SARKAR C, LIPINSKI MM. Glycerophospholipids dysregulation after traumatic brain injury [J]. *Neurochem Int*, 2024: 105701. DOI: 10.1016/j.neuint.2024.105701
- [34] YAO JL, FANG SM, LIU R, *et al.* A review on the terpenes from genus vitex [J]. *Molecules*, 2016, 21(9): 1179.
- [35] JIANG H, QIN X, WANG Q, *et al.* Application of carbohydrates in approved small molecule drugs: A review [J]. *Eur J Med Chem*, 2021, 223: 113633.
- [36] ROHMAN N, ARDIANSAH B, WUKIRSARI T, *et al.* Recent Trends in the synthesis and bioactivity of coumarin, coumarin-chalcone, and coumarin-triazole molecular hybrids [J]. *Molecules*, 2024, 29(5): 1026.
- [37] 王长文, 刘敏. 两种山野菜与蔬菜中矿物质含量的比较研究[J]. *科技与企业*, 2014(22): 172.
- WANG CW, LIU M. Comparative study of mineral content in two kinds of mountain wild vegetables and vegetables [J]. *Sci Ent*, 2014(22): 172.
- [38] 杨曦, 岳建伟, 苏翠, 等. 云南地区五种野生食用蕨菜营养成分分析[J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(14): 153–155.
- YANG X, YUE JW, SU C, *et al.* Nutrient composition analysis of five wild edible ferns in Yunnan [J]. *Hubei Agric Sci*, 2020, 59(14): 153–155.
- [39] 陈玉芹, 赵成法, 沐远, 等. 刺通草的营养成分分析及其氨基酸评

价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(7): 305–313.

CHEN YQ, ZHAO CF, MU Y, *et al.* Nutrient composition analysis and amino acid evaluation of *Trevesia palmata* [J]. *J Food Saf Qual*, 2024, 15(7): 305–313.

(责任编辑: 安香玉 蔡世佳)

作者简介



何泽娟, 硕士研究生, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: 3066363097@qq.com



张乃明, 教授, 主要研究方向为农业面源污染防治。

E-mail: zhangnaiming@sina.com



谭 超, 副教授, 主要研究方向为食品安全。

E-mail: 13208856843@163.com