

油茶蒲黄酮的制备及组分鉴定

吴苏喜^{1,2}, 李扬¹, 韩小苗^{1,2}, 董熠辉¹, 李万元², 彭邵锋³

(1. 长沙理工大学食品与生物工程学院, 长沙 410114; 2. 湖南神农国油生态农业发展有限公司, 湖南 衡阳 421800; 3. 湖南省林业科学院, 长沙 410114)

摘要:为促进油茶蒲的高值化开发利用, 推动油茶产业高质量发展, 以油茶蒲为原料, 采用超声辅助醇提法制备油茶蒲粗黄酮, 并采用 AB-8 大孔树脂吸附法纯化。另外, 对纯化的油茶蒲黄酮的结构进行了紫外光谱和红外光谱表征, 利用 UPLC-Q-TOF-MS 对其组分进行了鉴定。结果表明: 采用超声辅助醇提法制备的油茶蒲粗黄酮中黄酮含量为 32.41%, 采用 AB-8 大孔树脂纯化后的黄酮含量为 70.14%, 黄酮总回收率为 60.12%; 紫外光谱与红外光谱分析表明, 纯化物具有明显的黄酮类紫外、红外特征光谱, 证明该纯化物主要成分为黄酮类化合物; UPLC-Q-TOF-MS 从该纯化物中共鉴定出 44 种多酚类和黄酮类化合物, 其中 14 种黄酮类化合物、30 种多酚类化合物, 油茶蒲黄酮多以黄酮苷类化合物形式存在, 且多为山奈酚的糖苷类化合物, 油茶蒲黄酮中含有原花青素、儿茶素、表儿茶素及没食子酸等抗氧化活性成分。根据油茶蒲黄酮的组成成分, 推测其具有开发成为抗糖尿病食品以及与抗癌药物联用治疗疾病的潜力。

关键词:油茶蒲; 黄酮类化合物; 多酚类化合物; 组分鉴定; 超声辅助醇提

中图分类号: TS229; TS209 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)07-0130-06

Preparation and identification of the components of flavonoids from *Camellia oleifera* fruit shell

WU Suxi^{1,2}, LI Yang¹, HAN Xiaomiao^{1,2}, DONG Yihui¹,
LI Wanyuan², PENG Shaofeng³

(1. College of Food Science and Bioengineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Shennongguo Oil Eco-Agriculture Development Co., Ltd., Hengyang 421800, Hunan, China; 3. Hunan Academy of Forestry, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to promote the high-value exploitation and utilisation of *Camellia oleifera* fruit shell and promote the high-quality development of *Camellia oleifera* industry, the crude flavonoids of *Camellia oleifera* fruit shell were prepared by ultrasound-assisted ethanol extraction and purified by adsorption using AB-8 macroporous resin. In addition, the structure of the purified flavonoids was characterized by UV spectroscopy and infrared spectroscopy and their components were identified by UPLC-Q-TOF-MS. The results showed that the flavonoids content in the crude flavonoids prepared by ultrasound-assisted ethanol extraction was 32.41%, and the flavonoids content after purification using AB-8 macroporous resin was 70.14%, and the total recovery of flavonoids was 60.12%. The analysis of UV spectroscopy and infrared spectroscopy showed that the purified flavonoids had obvious flavonoids UV characteristic spectra and infrared characteristic spectra, which proved that the main components of the purified product was flavonoids. UPLC-Q-TOF-MS analysis showed that the purified flavonoids had 44 kinds of

收稿日期: 2023-08-15; 修回日期: 2023-12-02

基金项目: 湖南神农国油油茶产业科技创新创业团队

作者简介: 吴苏喜 (1965), 男, 教授, 博士, 研究方向为油茶加工 (E-mail) wsx6524@163.com。

通信作者: 韩小苗, 博士 (E-mail) hxm@csust.edu.cn。

polyphenols and flavonoids, among which 14 kinds of flavonoids and 30 kinds of polyphenols were identified. The purified flavonoids existed in the form of flavonoid glycosides and were mostly glycosides of kaempferol. The purified flavonoids

contained proanthocyanidins, catechins, epicatechins and gallic acid and other antioxidant active ingredients. Based on the composition of flavonoids from *Camellia oleifera* fruit shell, it is assumed that the purified flavonoids has the potential to be developed into an antidiabetic food as well as a synergistic treatment with anticancer drugs.

Key words: *Camellia oleifera* fruit shell; flavonoids; polyphenols; component identification; ultrasound - assisted ethanol extraction

油茶在我国有2 300多年的种植历史,是我国重要的木本油料作物^[1]。随着国家乡村振兴战略的实施,我国油茶产业也获得了更多的关注与重视^[2]。据统计,2021年我国油茶种植总面积约为459.2万hm²,油茶籽产量达394万t,油茶籽油产量约90万t,油茶产业总产值1 920亿元^[3]。油茶蒲和油茶籽一般分别约占整个油茶果质量的60%和40%^[4],据此可推算出2021年产生的油茶蒲约为590万t,这样一种巨大的天然植物资源,目前还没有得到合理利用,仍局限于生产活性炭和生物肥料、燃烧或直接丢弃。研究发现,油茶蒲富含多种高活性营养成分^[5],具有极大的开发价值。

关于油茶植物中活性成分的开发,已有关于从油茶的壳、叶和根中分离并鉴定出多种黄酮类化合物,并证明其在体内外都具有多种药理活性的研究报告,如:山茶苷A^[6]、山茶苷B^[7]、山奈酚-3-O-[α -L-鼠李糖基-(1→6)]- β -D-吡喃葡萄糖基]-7-O- β -D-吡喃葡萄糖苷^[8]、山奈酚-3-O-[β -D-吡喃葡萄糖基-(1→4)]- α -L-鼠李糖基]-7-O- α -L-鼠李糖苷^[8]、山奈酚-3-O- β -D-吡喃葡萄糖基-(1→2)-[α -L-鼠李糖吡喃-(1→6)]- β -D-吡喃葡萄糖苷^[9]等,均被分离鉴定出来,并被证实具有抗氧化、抗菌、消炎等多种生物活性。但是迄今为止,从油茶蒲中分离鉴定黄酮的研究报道很少。本研究以油茶蒲为原料,提取其中的黄酮,并应用紫外-可见光谱、傅里叶红外光谱、超高效液相色谱-四极杆-飞行时间串联质谱(UPLC-Q-TOF-MS)等对油茶蒲黄酮进行鉴定与分析,以期为油茶蒲的高值化利用提供新的研发路径。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料与试剂

油茶蒲粉(品种为‘湘林210’),为从湖南株洲市渌口区南洲镇北洲村油茶种植基地采摘的油茶果,经晾晒、裂开、去籽、粉碎、过0.177 mm(80目)筛所得。亚硝酸钠、硝酸铝、乳酸、盐酸、溴化

钾、甲酸、氢氧化钠、无水乙醇,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司;芦丁标准品(纯度 \geq 98%),上海源叶生物科技有限公司;乙腈,色谱纯,安徽天地高纯溶剂有限公司;1,1-二苯基-2-苦基苯肼,分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司;氯化胆碱,分析纯,上海麦克林生化科技股份有限公司;AB-8大孔树脂,天津市光复精细化工研究所。

1.1.2 仪器与设备

UV-5200紫外-可见分光光度计,上海元析仪器有限公司;Waters2695-2996液相色谱仪,美国沃特世科技有限公司;Nicolet Avatar370傅里叶红外光谱仪,上海昊扩科技发展有限公司;Agilent UPLC1290高效液相色谱仪、Agilent Q-TOF MS6550飞行质谱仪,安捷伦科技(中国)有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 油茶蒲黄酮的提取

参照董熠辉等^[10]的超声辅助醇提法提取油茶蒲黄酮。称取2g油茶蒲粉于锥形瓶中,在料液比1:20、乙醇溶液体积分数60%、超声功率240W、浸提温度60℃、浸提时间40min条件下浸提后,抽滤去渣,将滤液于50℃下旋蒸浓缩,再真空冷冻干燥,即得油茶蒲粗黄酮。

1.2.2 油茶蒲黄酮的纯化

1.2.2.1 树脂预处理

将AB-8大孔树脂用体积分数95%的乙醇溶液浸泡24h,然后用蒸馏水冲洗至无醇味,再按顺序用4倍体积体积分数为5%的HCl溶液和4倍体积质量浓度为5g/100mL的NaOH溶液依次浸泡4h,然后用蒸馏水洗至中性,滤干后备用。

1.2.2.2 油茶蒲粗黄酮的纯化

取适量油茶蒲粗黄酮,配制成质量浓度为3mg/mL的溶液。向250mL锥形瓶中加入2.0g预处理过的AB-8大孔树脂,再加入100mL上述油茶蒲粗黄酮溶液,于30℃恒温下振荡吸附5h,抽滤至不滴水,将树脂与100mL体积分数为60%的乙醇溶液一起加入至250mL锥形瓶中,于30℃恒温

下振荡解吸 1 h, 收集解吸液并进行旋蒸浓缩、冷冻干燥, 得到纯化的油茶蒲黄酮。

1.2.3 黄酮含量测定及黄酮回收率的计算

取适量样品, 用体积分数为 60% 的乙醇溶液溶解后离心分离, 得到上清液, 待测。参照吴苏喜等^[11]的 $\text{NaNO}_2 - \text{Al}(\text{NO}_3)_3 - \text{NaOH}$ 显色法, 以芦丁为标准品, 绘制标准曲线, 并测定样品中总黄酮含量。按下式计算黄酮回收率(R)。

$$R = m_1 C_1 / (m_0 C_0) \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_1 为产品质量; C_1 为产品中黄酮含量; m_0 为原料质量; C_0 为原料中黄酮含量。

1.2.4 油茶蒲黄酮的紫外-可见光谱扫描

参考王维维等^[12]的方法并稍作修改, 将 1.2.2 中纯化的油茶蒲黄酮样品在 200 ~ 800 nm 范围内进行紫外-可见光谱扫描。

1.2.5 油茶蒲黄酮的傅里叶红外光谱扫描

分别称取 1 mg 纯化前后的油茶蒲黄酮样品, 与 100 mg 溴化钾混匀, 用玛瑙研钵研磨至均匀, 采用压片的方式在 500 ~ 4 000 cm^{-1} 区间进行红外光谱扫描。

1.2.6 油茶蒲黄酮组分分析

参照 Hong 等^[13]的方法并稍作修改, 采用 UPLC-MS 分析油茶蒲黄酮组分。色谱条件: Waters BEHC18 色谱柱 (2.1 mm \times 50 mm \times 1.7 μm); 流动相 A 为色谱级乙腈, 流动相 B 为体积分数为 0.1% 的甲酸溶液; 流速 0.3 mL/min; 进样量 5 μL ; 洗脱程序为 98% ~ 80% B (0 ~ 15 min)、80% ~ 60% B (15 ~ 20 min)、60% ~ 20% B (20 ~ 25 min)、20% ~ 0 B (25 ~ 27 min)、0 ~ 98% B (27 ~ 27.1 min)、98% B (27.1 ~ 30 min)。质谱条件: 离子源为负离子模式; 扫描范围 m/z 50 ~ 1 000; 持续时间 0.2 s; 毛细管电压 3.2 kV; 锥形电压 20 V; 源块温度 100 $^\circ\text{C}$; 脱溶温度 400 $^\circ\text{C}$; 碰撞气体为氩气; 锥孔气体流速 50 L/h; 脱溶气体为氮气, 流速 720 L/h。

1.2.7 数据处理

采用 SPSS 17.0 和 Origin 2018C 系统对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 油茶蒲黄酮的纯度及回收率

表 1 为制备的油茶蒲黄酮的纯度及回收率。

表 1 油茶蒲黄酮的纯度及回收率 %

样品	黄酮含量	黄酮得率	黄酮回收率
油茶蒲粉	7.01 \pm 0.37	-	-
粗黄酮	32.41 \pm 1.19	5.83 \pm 0.38	83.34 \pm 0.95
纯化黄酮	70.14 \pm 0.78	4.21 \pm 0.28	60.12 \pm 0.07

由表 1 可知, 本研究所采用的油茶蒲粉的黄酮含量为 7.01%, 高于董熠辉^[14]报道的湖南 5 地 (郴州、邵阳、常德、衡阳、益阳) 的油茶蒲黄酮含量 (4.02% ~ 5.53%), 说明本研究所用原料更具开发价值。另外, 所制备的油茶蒲粗黄酮中黄酮含量为 32.41%, 纯化后黄酮含量提升至 70.14%; 醇提粗黄酮回收率为 83.34%, 纯化后黄酮总回收率为 60.12%, 说明醇提和纯化步骤可有效获得油茶蒲中黄酮成分。

2.2 油茶蒲黄酮的紫外-可见光谱

油茶蒲黄酮的紫外-可见光谱图见图 1。

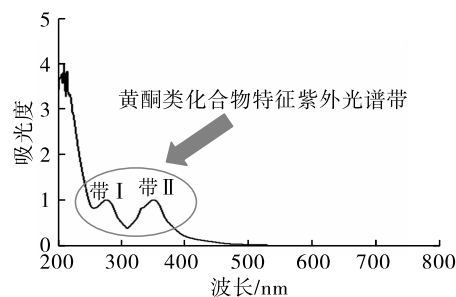


图 1 油茶蒲黄酮的紫外-可见光谱图

由图 1 可知, 油茶蒲黄酮在 250 ~ 300 nm 和 300 ~ 400 nm 间分别出现了两条紫外吸收带, 即带 I 和带 II。研究表明, 黄酮类化合物中存在着由桂皮酰基和苯甲酰基构成的交叉交联共轭体系, 所以它在 200 ~ 400 nm 范围内的紫外光谱具有两条主要的吸收带^[12]。其中: 300 ~ 400 nm 之间的紫外吸收带是桂皮酰基的电子跃迁引起的, 而 250 ~ 300 nm 之间的紫外吸收带是苯甲酰基的电子跃迁引起的^[15]。综上所述, 本研究制备的油茶蒲黄酮是黄酮类化合物。

2.3 油茶蒲黄酮的红外光谱

对纯化前后的油茶蒲黄酮进行红外光谱分析, 结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 纯化前后的油茶蒲黄酮具有相近的红外光谱图。图中 3 396、3 416 cm^{-1} 处强且宽的吸收为黄酮类分子中的 -OH 伸缩振动^[16], 信号强说明 -OH 数目较多, 推测有较多的分子间氢键; 2 925、2 969 cm^{-1} 处为黄酮化合物苯环 C-H 的伸缩振动^[16], 强度较弱, 说明饱和碳原子上氢原子较少; 1 722、1 715 cm^{-1} 处为 C=O 伸缩振动^[17]; 1 650 ~ 1 447 cm^{-1} 之间的吸收为苯环骨架变形振动和 C=O 伸缩振动^[17]; 1 350、1 348 cm^{-1} 处为 O-H 弯曲振动^[17]; 1 300 ~ 1 100 cm^{-1} 之间为 C-C 振动^[16]; 1 224、1 207 cm^{-1} 处为 C6-C3-C6 骨架环氧环上的醚键非对称伸缩振动^[17], 由醚键的氧原子

与苯环形成 P- Π 共轭产生,推测存在桂皮酰基(黄酮紫外光谱吸收带 II 的结构);1 047、1 039 cm^{-1} 处存在强的 C—O 伸缩振动;900 ~ 650 cm^{-1} 之间为苯环上取代基位置引起的特征吸收峰^[18]。综上可知,

油茶蒲黄酮纯化前后皆具有完整的黄酮基本骨架,结合紫外光谱结果,进一步确定该油茶蒲黄酮纯化产物属于黄酮类化合物。

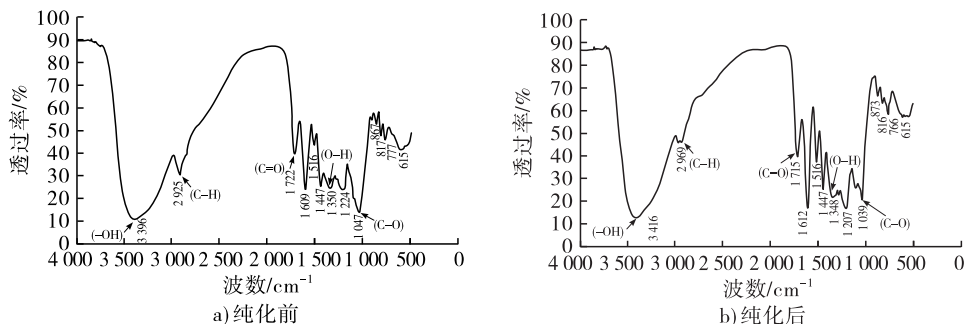


图2 纯化前后油茶蒲黄酮的红外光谱图

2.4 油茶蒲黄酮的组成

采用 UPLC-Q-TOF-MS 对油茶蒲黄酮的组

成分进行鉴定,其总离子流图如图 3 所示。

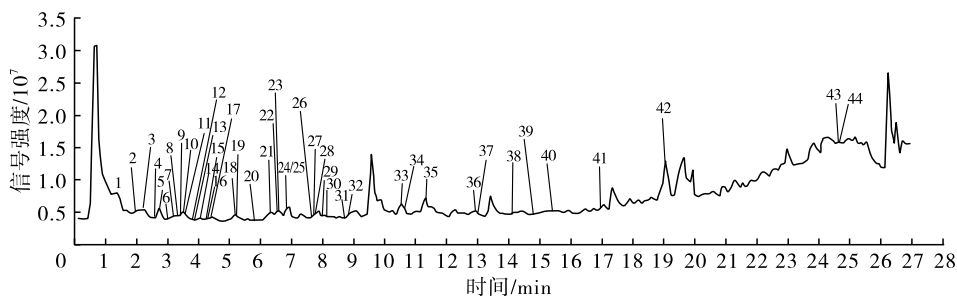


图3 油茶蒲黄酮纯化物的 UPLC-Q-TOF-MS 总离子流图

根据油茶蒲黄酮的总离子流图,采用安捷伦 MassHunter 工作站进行数据处理,经 ChemSpider、PubChem 网站检索和查阅相关文献后,推测油茶蒲黄酮的组成成分。以峰 4 为例说明色谱峰的鉴别过程:峰 4 的保留时间为 2.750 min, m/z 866.205 8 $[M+H]^+$ 为其基准离子峰,通过 ChemSpider、

PubChem 网站检索,并结合相关文献报道,确定元素组成为 $C_{45}H_{38}O_{18}$ 。计算 $C_{45}H_{38}O_{18}$ 的同位素分布情况,与实际情况相对比,同位素分布理论值与实际值吻合,结合文献^[19]信息对比鉴别 4 号峰为原花青素 C1,属黄酮类化合物。油茶蒲黄酮的组成成分鉴定结果如表 2 所示。

表2 油茶蒲黄酮的组成成分

序号	保留时间/min	m/z	ChemSpider ID	CAS 号	化合物名称	类别
1	1.428	170.021 5		149-91-7	没食子酸	多酚类
2	2.095	332.074 6		13405-60-2	1-O-没食子酸酰葡萄糖	多酚类
3	2.205	634.080 6		517-46-4	木麻黄素	多酚类
4	2.750	866.205 8		37064-30-5	原花青素 C1	黄酮类
5	2.769	154.026 6		99-50-3	原儿茶酸	多酚类
6	3.099	154.063 0		2065-00-1	绵马精酸	多酚类
7	3.210	168.034 7		121-34-6	香草酸	多酚类
8	3.448	484.085 3		23363-08-8	1,6-二没食子酰- β -D-吡喃葡萄糖	多酚类
9	3.543	332.074 4		13405-60-2	1-没食子酸酰葡萄糖	多酚类
10	3.552	198.052 8		55-10-7	香草扁桃酸	多酚类
11	3.563	244.058 3		59634-75-2	1-O-没食子酰丙三醇	多酚类
12	3.932	342.110 7		41653-73-0	(-)-3,5-二甲氧基-4-羟基苯基 β -葡萄糖苷	多酚类
13	3.936	286.104 5		138-52-3	水杨苷	多酚类

续表 2

序号	保留 时间/min	<i>m/z</i>	ChemSpider ID	CAS 号	化合物名称	类别
14	4.102	138.031 7		69-72-7	水杨酸	多酚类
15	4.329	212.068 5		121-79-9	没食子酸丙酯	多酚类
16	4.332	166.063 0		552-41-0	丹皮酚	多酚类
17	4.587	484.085 3	389206		没食子酸 3-O-(6-没食子酰葡萄糖苷)	多酚类
18	5.367	138.031 7		99-96-7	对羟基苯甲酸	多酚类
19	5.385	184.037 2		99-24-1	没食子酸甲酯	多酚类
20	5.941	578.142 4		482-38-2	山奈苷	黄酮类(苷类)
21	6.470	464.141 3		31712-49-9	橙皮素 7-O-葡萄糖苷	黄酮类(苷类)
22	6.646	338.100 1		32451-86-8	5-O-对香豆酰奎丁酸	多酚类
23	6.682	292.094 7	4884518		氢化异黄酮 C	氢化异黄酮 C
24	6.919	244.073 6		10083-24-6	白皮杉醇	多酚类
25	6.919	290.079 0		18829-70-4	儿茶素	黄酮类(游离单体)
26	7.792	356.110 7		64625-37-2	1-O-阿魏酰- β -D-葡萄糖	多酚类
27	7.830	578.142 4		870783-41-8	山奈酚-7-O-(2-E-对-香豆酰- α -L-鼠李吡喃糖苷)	黄酮类(苷类)
28	7.896	465.103 3		50986-17-9	飞燕草素 3-O-葡萄糖苷	黄酮类(苷类)
29	8.027	482.142 4		6736-85-2	梓苷	黄酮类(苷类)
30	8.178	326.100 2	4475250		葡萄糖基对香豆酸	多酚类
31	8.855	314.100 2		10338-88-2	6-O-乙酰基熊果苷	多酚类
32	8.928	194.057 9		1135-24-6	阿魏酸	多酚类
33	10.781	164.047 3		14755-02-3	3-羟基肉桂酸	多酚类
34	10.857	152.047 3		121-33-5	香草醛	多酚类
35	11.343	290.079 1		490-46-0	表儿茶素	黄酮类(游离单体)
36	13.086	422.121 3		42830-48-8	儿茶素 7-木糖苷	黄酮类(苷类)
37	13.194	318.110 3	35013251		4',7-二-O-甲基儿茶素	4',7-二-O-甲基儿茶素
38	14.219	636.096 3	29814700		1,2,3-三-O-(3,4,5-三羟基苯甲酰基)- β -D-吡喃葡萄糖	多酚类
39	14.906	436.375 5		21794-66-1	高芒果苷	黄酮类(苷类)
40	15.495	938.102 4		58970-75-5	丁子芽鞣素	多酚类
41	17.044	404.109 9	4478548		柚皮素-7-O- β -D-木糖吡喃糖苷	多酚类
42	19.266	418.090 0		99882-10-7	山奈酚-3-O-阿拉伯呋喃糖苷	黄酮类(苷类)
43	24.622	404.107 1	35014399		二氢川陈皮素	黄酮类(苷类)
44	24.624	450.152 6		55785-60-9	4-甲氧根皮苷	多酚类

由表 2 可见:油茶蒲黄酮纯化物中共检出 44 种黄酮类和多酚类生物活性成分,其中黄酮类化合物 14 种,多酚类化合物 30 种;油茶蒲黄酮中含有原花青素、儿茶素、表儿茶素及没食子酸等的单体及其化合物等多种抗氧化活性成分。黄酮类化合物主要由苷元和糖基组成。油茶蒲黄酮中鉴定出的黄酮类物质包括 2 种黄酮游离单体、9 种黄酮苷类化合物以及氢化异黄酮 C、4',7-二-O-甲基儿茶素和原花

青素 C1。油茶蒲黄酮中的黄酮多以黄酮苷类化合物形式存在,而且多为山奈酚的糖苷类化合物。黄酮苷类化合物因具有抑制 α -葡萄糖苷酶活性的作用从而具有降血糖功效^[20],同时,原花青素、儿茶素、表儿茶素及没食子酸等均具有较强的抗氧化活性,由于机体生理代谢过程中产生的活性氧类(ROS)是各种癌症治疗剂引起心脏毒性和神经性毒性的媒介^[21],而消除 ROS 的最有效方法便是使用

抗氧化剂^[22],因此油茶蒲黄酮具有开发成为抗糖尿病食品以及与抗癌药物联用治疗疾病的潜力。

3 结论

油茶蒲原料的黄酮含量为7.01%。采用超声辅助醇提法制备的油茶蒲粗黄酮中黄酮含量为32.41%,采用AB-8大孔树脂纯化后黄酮含量为70.14%,黄酮总回收率为60.12%。油茶蒲黄酮纯化物具有明显的黄酮类紫外、红外特征光谱,确证其主要成分为黄酮类化合物;该纯化物中共鉴定出44种多酚类和黄酮类化合物,其中黄酮类化合物14种,多酚类化合物30种。油茶蒲黄酮中的黄酮多以黄酮苷类化合物形式存在,且多为山奈酚的糖苷类化合物,同时,该纯化物中还含有原花青素、儿茶素、表儿茶素及没食子酸等抗氧化活性成分。因此,油茶蒲黄酮纯化物具有开发成为抗糖尿病食品以及与抗癌药物联用治疗疾病的潜力。

参考文献:

- [1] 王瑞,陈永忠.我国油茶产业的发展现状及提升思路[J].林业科技开发,2015(4):6-10.
- [2] 单琴.油茶籽粕多糖的降血脂功效及其对肠道菌群的影响[D].合肥:合肥工业大学,2021.
- [3] 中国乡村发展志愿服务促进会.中国油茶产业发展蓝皮书(2022)[M].北京:研究出版社,2023:5.
- [4] 舒斌斌,吴苏喜,谢妍祎,等.油茶蒲纯化多糖的制备与组分、结构分析[J].中国油脂,2023,48(4):119-123,139.
- [5] 何东平,相海.油茶籽加工技术[M].北京:中国轻工业出版社,2015.
- [6] KUO P C, LIN T C, YANG C W, et al. Bioactive saponin from tea seed pomace with inhibitory effects against *Rhizoctonia solani* [J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(15): 8618-8622.
- [7] ZHU X Y, LIN H M, CHEN X, et al. Mechanochemical-assisted extraction and antioxidant activities of kaempferol glycosides from *Camellia oleifera* Abel. meal[J]. J Agric Food Chem, 2011, 59(8): 3986-3993.
- [8] ZHENG L, CHEN L, LI J, et al. Two kaempferol glycosides separated from *Camellia oleifera* meal by high-speed countercurrent chromatography and their possible application for antioxidation [J]. J Food Sci, 2019, 84(10): 2805-2811.
- [9] DU L C, WU B L, CHEN J M. Flavonoid triglycosides from the seeds of *Camellia oleifera* Abel[J]. Chinese Chem Lett, 2008, 19(11): 1315-1318.
- [10] 董熠辉,吴苏喜,李彪,等.油茶蒲醇提纯化物的组分鉴别及对油脂的抗氧化作用[J].中国油脂,2022,47(3):128-131,152.
- [11] 吴苏喜,吴美芳,谢妍祎,等.油茶蒲不同溶剂粗提液的总黄酮提取率与抗氧化活性比较[J].中国油脂,2019,44(6):116-119,123.
- [12] 王维维,王亦军,侯圣龙,等.昆仑雪菊中黄酮类化合物提取与纯化[J].广州化学,2014,39(4):22-27.
- [13] HONG C, CHANG C, ZHANG H, et al. Identification and characterization of polyphenols in different varieties of *Camellia oleifera* seed cakes by UPLC-QTOF-MS[J/OL]. Food Res Int, 2019, 126: 108614 [2023-08-15]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108614>.
- [14] 董熠辉.油茶蒲黄酮的提取、纯化、鉴定及降糖功效研究[D].长沙:长沙理工大学,2022.
- [15] 米丽班·霍加艾合买提,迪丽努尔·马里克,毛居代·亚尔买买,等.石榴花色色素中黄酮类化合物的分离及初步鉴定[J].新疆师范大学学报(自然科学版),2015,34(3):29-32.
- [16] 苗晶囡,邱军强,李海霞,等.一种黑木耳酸性多糖的分离纯化及其结构鉴定[J].食品研究与开发,2019,40(6):1-8.
- [17] 李焱.西番莲种籽中类黄酮的提取、分离纯化、结构鉴定及抗氧化活性研究[D].广州:华南农业大学,2019.
- [18] 孙岩,郭庆兴,童群义.油菜蜂花粉黄酮体外降糖活性研究[J].食品工业科技,2015,36(12):122-126.
- [19] 翁倩倩,杨滨,李斌,等.瓜拉纳化学成分的上层液-TOF-MS分析[J].中国实验方剂学杂志,2021,27(15):68-75.
- [20] XIAO J B, HÖGGER P. Dietary polyphenols and type 2 diabetes: Current insights and future perspectives [J]. Curr Med Chem, 2015, 22(1): 23-38.
- [21] LIU J, WANG X, YONG H, et al. Recent advances in flavonoid-grafted polysaccharides: Synthesis, structural characterization, bioactivities and potential applications [J]. Int J Biol Macromol, 2018, 116: 1011-1025.
- [22] OROIAN M, ESCRICHE I. Antioxidants: Characterization, natural sources, extraction and analysis [J]. Food Res Int, 2015, 74: 10-36.