

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.06.015

荷叶生物碱提取工艺优化及其抗氧化活性

艾旭¹, 刘瑞洁¹, 贲锦华², 彭欣雨², 高佳², 缪园欣^{2*}, 段睿¹

(1. 荆门市中心医院 荆楚理工学院附属荆门市中心医院, 湖北 荆门 448000; 2. 荆楚理工学院 农业生物技术研究所, 湖北 荆门 448000)

摘要: 为优化荷叶生物碱提取工艺, 探究其抗氧化活性。以生物碱得率为考察指标, 优化荷叶生物碱的提取工艺, 并测定荷叶生物碱对 DPPH 自由基、ABTS⁺ 自由基、羟基自由基的清除能力。正交试验确定最佳提取工艺条件为料液比 2:20 (g/mL)、乙醇浓度 60%、超声时间 40 min、超声温度 60 °C, 此条件下, 荷叶生物碱得率可达 (1.581±0.026)%。抗氧化活性测定表明荷叶生物碱对 DPPH 自由基、ABTS⁺ 自由基、羟基自由基有明显的清除作用。

关键词: 荷叶; 生物碱; 工艺优化; 抗氧化活性; 正交试验

Extraction Process Optimization and Antioxidant Activity of Lotus Leaf Alkaloids

AI Xu¹, LIU Ruijie¹, BI Jinhua², PENG Xinyu², GAO Jia², MIAO Yuanxin^{2*}, DUAN Rui¹

(1. Jingmen Central Hospital, Jingmen Central Hospital Affiliated to Jingchu University of Technology, Jingmen 448000, Hubei, China; 2. Research Institute of Agricultural Biotechnology, Jingchu University of Technology, Jingmen 448000, Hubei, China)

Abstract: This study aimed to optimize the extraction process of lotus leaf alkaloids and explore their antioxidant activity. The extraction process of lotus leaf alkaloids was optimized with the alkaloid extraction rate as the indicator, and the scavenging ability of lotus leaf alkaloids against DPPH, ABTS⁺, and hydroxyl radicals was determined. The results showed that the optimal extraction conditions determined by the orthogonal test were as follows: solid-liquid ratio of 2:20 (g/mL), ethanol concentration of 60%, ultrasonic time of 40 min, and ultrasonic temperature of 60 °C. Under above conditions, the extraction rate of lotus leaf alkaloids was (1.581±0.026)%. The antioxidant activity of lotus leaf alkaloids was studied, and it was found that they had a great scavenging ability against DPPH radicals, ABTS⁺ radicals, and hydroxyl radicals.

Key words: lotus leaf; alkaloid; process optimization; antioxidant activity; orthogonal test

引文格式:

艾旭, 刘瑞洁, 贲锦华, 等. 荷叶生物碱提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(6): 115-120.

AI Xu, LIU Ruijie, BI Jinhua, et al. Extraction Process Optimization and Antioxidant Activity of Lotus Leaf Alkaloids[J]. Food Research and Development, 2025, 46(6): 115-120.

荷叶 (*Nelumbo nucifera*) 是莲科莲属植物莲的叶片, 是兼具药食观赏价值的植物^[1-2]。我国荷叶资源丰富, 广泛分布于浙江、湖北等地区, 常用于制作减脂、瘦身产品, 但其整体利用率较低^[3]。对荷叶中所含的活性成分进行分析, 发现荷叶中黄酮、生物碱类化合物含量丰富^[4], 此外还含有膳食纤维、纤维素、挥发油、氨基酸、矿物质、多酚等^[5-6]。对荷叶的药理学研究发现其具有消炎、抑菌、调节血脂、抗氧化、抗病毒等功效^[7-8]。

生物碱是一类由天然植物合成的具有碱性和生物活性的有机化合物, 具有抗炎、抗癌、抗氧化、降糖、降血压、降血脂等生物活性^[9-12]。荷叶中生物碱含量丰富, 研究发现荷叶生物碱能够有效调节细胞内脂质代谢^[13], 抗胆管癌细胞增殖^[14], 改善葡聚糖硫酸钠诱导的肠炎小鼠肠道炎症反应^[15]。本研究以荷叶为原料优化荷叶生物碱提取工艺, 并研究荷叶生物碱的抗氧化活性, 以期对荷叶的开发利用奠定基础。

基金项目: 荆门市重大科技创新计划项目 (2024ZDYF006)

作者简介: 艾旭 (1973—), 男 (汉), 主任医师, 硕士, 主要从事天然产物功能研究。

*通信作者: 缪园欣 (1988—), 女, 副教授, 博士, 主要从事食品质量与安全的研究工作。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

干燥荷叶:市售;95%乙醇:武汉市洪山中南化工试剂有限公司;无水乙醇、甲醇、三氯甲烷:四川西陇化工股份有限公司;盐酸小檗碱:成都埃法生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH):北京博奥拓达科技有限公司;2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS]:福州飞净生物科技有限公司;硫酸亚铁:天津市致远化学试剂有限公司;氢氧化钠、浓盐酸、抗坏血酸、过硫酸钾、水杨酸:福晨(天津)化学试剂有限公司。所有试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

TU-1901型双光束紫外分光观光仪:北京普析通用仪器有限责任公司;101-2A型电热鼓风干燥箱:天津市泰斯特仪器有限公司;SB25-12D型超声波清洗器、SCIENTZ-10N型冷冻干燥机:宁波新芝生物科技股份有限公司;FW80型微型高速万能粉碎机:北京科伟永兴仪器有限公司;FA224C型电子天平:上海力辰邦西仪器科技有限公司;L535R型医用离心机:湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;SHB-III型循环水式多用真空泵、WB-2000型水浴锅、DL-400型循环冷却器:郑州长城科工贸有限公司。

1.3 方法

1.3.1 材料处理

选择干燥、无杂质的荷叶,采用微型高速万能粉碎机破碎,过40目筛得荷叶粉末,置于干燥具塞玻璃瓶中备用。

1.3.2 盐酸小檗碱标准曲线的绘制

精密称量7.7 mg盐酸小檗碱于10 mL容量瓶中,加入甲醇溶液溶解并定容至10 mL,得到0.77 mg/mL的盐酸小檗碱标准溶液。吸取盐酸小檗碱标准溶液0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mL于10 mL容量瓶中,加入甲醇溶液定容至10.0 mL,以甲醇溶液为空白对照在波长418 nm处测量其吸光度。以盐酸小檗碱标准溶液浓度为横坐标,以吸光度为纵坐标绘制标准曲线^[16]。得到回归方程 $y=0.0139x-0.003$, $R^2=0.998$,在试验范围内线性关系良好。

1.3.3 荷叶生物碱的提取工艺

干燥荷叶→粉碎成粉→加入不同浓度乙醇→采用超声波辅助提取→经抽滤后取抽滤液→旋转蒸发浓缩→冷冻干燥机冷冻48 h→0.1 mol/L盐酸溶液溶解→氯仿萃取→得荷叶生物碱。

1.3.4 荷叶生物碱得率的测定

将荷叶粉精确称取10.000 0 g,加入不同浓度的乙醇溶液浸泡30 min,超声波辅助提取一定时间。提取完成后抽滤去除滤渣、旋蒸浓缩、冷冻干燥得到荷叶生

物碱提取物。称取干燥后的提取物,用0.1 mol/L盐酸溶液进行溶解,4 000 r/min离心10 min,用氯仿萃取2~3次,调节pH值至10再次萃取1~2次。依据1.3.2的方法测得荷叶生物碱浓度,重复3次取平均值,以减少试验误差。利用标准曲线及回归方程对荷叶生物碱进行测定荷叶生物碱得率($H, \%$)按公式(1)进行计算。

$$H = C \times V \times N / (m \times 10^3) \times 100 \quad (1)$$

式中: C 为荷叶样品中生物碱的浓度,mg/mL; V 为荷叶粉溶液稀释液体积,mL; N 为稀释倍数; m 为荷叶粉质量,g。

1.3.5 荷叶生物碱提取单因素试验

准确称取干燥荷叶粉10.000 0 g,以生物碱得率为试验指标,分别考察不同的料液比[1:20、2:20、3:20、4:20、5:20(g/mL)]、乙醇浓度(50%、60%、70%、80%、90%)、超声时间(20、30、40、50、60 min)、超声温度(40、45、50、55、60 °C)对荷叶生物碱得率的影响。

1.3.6 荷叶生物碱提取工艺正交试验

以荷叶生物碱得率为试验指标,选取 $L_9(3^4)$ 进行正交试验,考察料液比、乙醇浓度、超声时间、超声温度对荷叶生物碱得率的影响。正交试验因素水平见表1。

表1 正交试验设计因素与水平
Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	因素			
	A 料液比/ (g/mL)	B 乙醇 浓度/%	C 超声 时间/min	D 超声 温度/°C
1	1:20	60	30	50
2	2:20	70	40	55
3	3:20	80	50	60

1.3.7 荷叶生物碱体外抗氧化活性测定

1.3.7.1 羟基自由基清除能力测定

取0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL的荷叶生物碱溶液各2 mL,加入6 mmol/L硫酸亚铁2.0 mL、6 mmol/mL双氧水2.0 mL,混合静置10 min,再加入6 mmol/L水杨酸2.0 mL,混合静置30 min,于510 nm波长处测吸光度 A_i 。用蒸馏水代替水杨酸测吸光度 A_j ,对照组以2.0 mL蒸馏水代替荷叶生物碱溶液测定吸光度 A_0 ,抗坏血酸(V_C)作阳性对照^[17-18]。羟基自由基清除率($Q, \%$)按公式(2)进行计算。

$$Q = [A_0 - (A_i - A_j)] / A_0 \times 100 \quad (2)$$

1.3.7.2 DPPH 自由基清除能力测定

取0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL的荷叶生物碱溶液各2 mL于试管中,加入2.0 mL的2 mmol/L DPPH无水乙醇溶液,静置于暗室30 min,在517 nm测定吸光度为 A_i ,抗坏血酸作为阳性对照;对照组用2.0 mL的无水乙醇代替DPPH,测定吸光度 A_j ;空白组以蒸馏水代替荷叶生物碱溶液,测定吸光度为 A_0 ^[19-20]。DPPH自由基清除率($D, \%$)按公式(3)进行计算。

$$D = [A_0 - (A_i - A_j)] / A_0 \times 100 \quad (3)$$

1.3.7.3 ABTS⁺自由基清除能力测定

取 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/mL 的荷叶生物碱溶液各 2 mL 于试管中,加入 2 mL 的 ABTS 工作液,静置于暗室反应 30 min,在 734 nm 测定吸光度为 A_i 。以抗坏血酸作为阳性对照;对照组以 2 mL 的无水乙醇代替 ABTS 工作液,测定吸光度 A_j ,空白组以蒸馏水代替荷叶生物碱溶液,测定吸光度为 A_0 ^[21-22]。ABTS⁺自由基清除率(B ,%)按公式(4)进行计算。

$$B = [A_0 - (A_i - A_j)] / A_0 \times 100 \quad (4)$$

1.4 数据处理

所有试验均重复 3 次,采用 Office 2019 和 SPSS 进行绘图和统计分析。

2 结果与分析

2.1 荷叶生物碱提取单因素试验

2.1.1 料液比对荷叶生物碱得率的影响

料液比对荷叶生物碱得率的影响如图 1 所示。

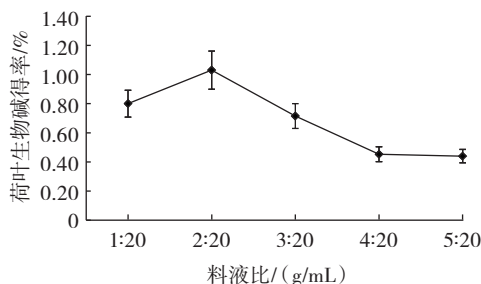


图 1 料液比对荷叶生物碱得率的影响

Fig.1 Effect of solid-liquid ratio on extraction rate of lotus leaf alkaloids

由图 1 可知,在试验范围内,随着荷叶粉末添加量的增加,荷叶生物碱得率呈先上升后下降的趋势,在料液比 2:20 (g/mL) 时,荷叶生物碱得率最大,为 1.03%,当料液比超过 2:20 (g/mL) 时,荷叶生物碱得率逐渐下降。随着荷叶粉末添加量的逐渐增加,有效成分释放增加,荷叶生物碱得率增加;此后,随着料液比超过 2:20 (g/mL),荷叶粉末浓度过高,无法与乙醇溶液充分接触,不利于生物碱的析出,因此,荷叶生物碱得率呈下降趋势。因此,选取料液比 1:20、2:20、3:20 (g/mL) 进行后续正交试验。

2.1.2 乙醇浓度对荷叶生物碱得率的影响

乙醇浓度对荷叶生物碱得率的影响如图 2 所示。

由图 2 可知,乙醇浓度在 50%~70% 时,随着乙醇浓度的增加,荷叶生物碱得率逐渐增加,最大值为 1.27%;当乙醇浓度超过 70% 时,荷叶生物碱得率逐渐降低。这是由于随着乙醇浓度的增加,荷叶粉末与乙醇充分接触,有利于生物碱的释放;但当乙醇浓度超过 70% 时,其他非生物碱杂质在乙醇中的溶解度增加,这

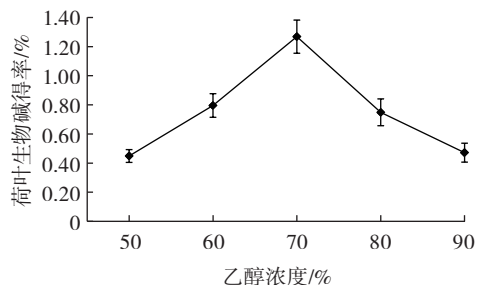


图 2 乙醇浓度对荷叶生物碱得率的影响

Fig.2 Effect of ethanol concentration on extraction rate of lotus leaf alkaloids

些非生物碱物质的持续溶解,影响生物碱的释放,使得荷叶生物碱提取率降低^[23]。因此,选取乙醇浓度 60%、70%、80% 进行后续正交试验。

2.1.3 超声温度对荷叶生物碱得率的影响

超声温度对荷叶生物碱得率的影响如图 3 所示。

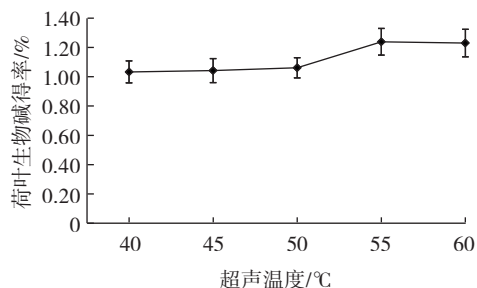


图 3 超声温度对荷叶生物碱得率的影响

Fig.3 Effect of ultrasonic temperature on extraction rate of lotus leaf alkaloids

由图 3 可知,超声温度在 40~55 °C 时,随温度上升,荷叶生物碱得率逐渐增加,最大值为 1.24%;当超声温度持续增加超过 55 °C 时,荷叶生物碱降低。超声辅助提取能够破坏细胞壁和细胞膜,有利于细胞内容物的释放,增加活性成分的得率^[24]。当超声温度逐渐升高时,分子运动增加,荷叶中有效成分的渗透、扩散和溶解液会增加,利于生物碱的溶出;当超声温度过高,荷叶生物碱的结构被破坏,降低荷叶生物碱得率。因此,选取超声温度 50、55、60 °C 进行后续正交试验。

2.1.4 超声时间对荷叶生物碱得率的影响

超声时间对荷叶生物碱得率的影响如图 4 所示。

由图 4 可知,超声时间在 20~60 min 范围内,随超声时间的延长,荷叶生物碱得率呈先上升后降低的趋势。在超声时间 40 min 时,荷叶生物碱得率最高,为 1.32%;当超声时间超过 40 min 时,荷叶生物碱得率逐渐降低。提取过程中,一定时间的超声处理,可以增加分子间相互作用,利于生物碱的提取;但是当超声时间过长,热效应和机械效应会破坏生物碱结构,同时增加非生物碱杂质的释放,使得荷叶生物碱得率降低^[25]。因此,选取超声时间 30、40、50 min 进行后续正交

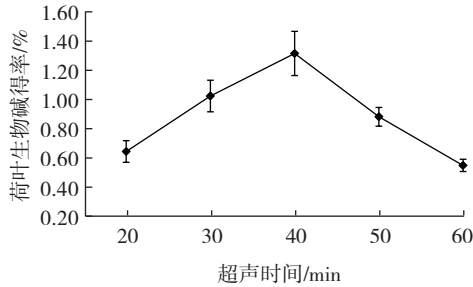


图4 超声时间对荷叶生物碱得率的影响

Fig.4 Effect of ultrasonic time on extraction rate of lotus leaf alkaloids

试验。

2.2 提取工艺优化正交试验

为确定荷叶生物碱提取最佳工艺条件,研究料液比、乙醇浓度、超声时间、超声温度对荷叶生物碱提取的影响,以荷叶生物碱得率为评价指标,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验。正交试验结果见表2,方差分析见表3。

表2 提取工艺优化正交试验结果与分析

Table 2 Results and analysis of orthogonal test for extraction process optimization

试验号	A 料液比	B 乙醇浓度	C 超声时间	D 超声温度	生物碱得率/%
1	1	1	1	1	1.011±0.039
2	1	2	2	2	1.043±0.045
3	1	3	3	3	1.056±0.081
4	2	1	2	3	1.581±0.029
5	2	2	3	1	1.112±0.026
6	2	3	1	2	1.345±0.026
7	3	1	3	2	1.203±0.010
8	3	2	1	3	1.336±0.029
9	3	3	2	1	1.127±0.045
k_1	1.037	1.265	1.231	1.083	
k_2	1.346	1.164	1.250	1.197	
k_3	1.222	1.176	1.124	1.324	
R	0.309	0.101	0.127	0.241	
因素主次	A>D>C>B				
最优组合	$A_2B_1C_2D_3$				

表3 正交试验结果方差分析

Table 3 Variance analysis of orthogonal test results

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	$F_{0.05}$ 临界值	$F_{0.01}$ 临界值	显著性
A	0.436	2	0.218	125.251	3.555	6.013	**
B	0.255	2	0.128	15.799	3.555	6.013	**
C	0.084	2	0.042	24.015	3.555	6.013	**
D	0.262	2	0.131	75.123	3.555	6.013	**
误差	0.031	18	0.002				

注:**表示影响极显著($P<0.01$)。

通过表2中生物碱得率的极差分析结果可知,各因素对生物碱得率影响的主次顺序为料液比>超声温度>超声时间>乙醇浓度。荷叶碱最佳的提取工艺条件为 $A_2B_1C_2D_3$,即料液比2:20(g/mL)、乙醇浓度60%、超声时间40min、超声温度60℃,该条件荷叶生物碱提取率最高,为(1.581±0.026)%。由表3可知,因素A、B、C、D对荷叶生物碱得率均有极显著影响($P<0.01$),对生物碱得率影响的主次顺序为A>D>C>B,即料液比>超声温度>超声时间>乙醇浓度,与直观分析结果一致。

2.3 荷叶生物碱的抗氧化活性分析

2.3.1 羟基自由基清除能力

荷叶生物碱的羟基自由基清除率如图5所示。

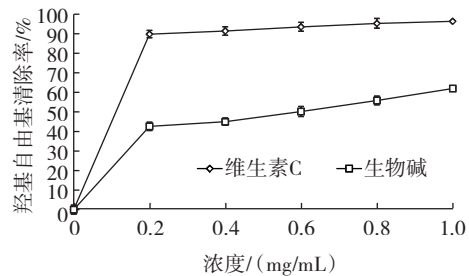


图5 荷叶生物碱的羟基自由基清除率

Fig.5 Scavenging rate of lotus leaf alkaloids against hydroxyl radicals

羟基自由基是生物体内最具代表性的自由基,能够破坏生物体内蛋白质、脂质、核酸等生物大分子,而引起生物体老化损伤,因此,羟基自由基清除能力能较好反映体外抗氧化能力。由图5可知,荷叶生物碱和V_C对羟基自由基的清除率呈现浓度依赖性,随着生物碱浓度的增加,羟基自由基清除率增加,但荷叶生物碱对羟基自由基清除能力低于V_C。结果表明荷叶生物碱具有一定清除羟基自由基的能力。

2.3.2 DPPH 自由基清除能力

荷叶生物碱的DPPH自由基清除率如图6所示。

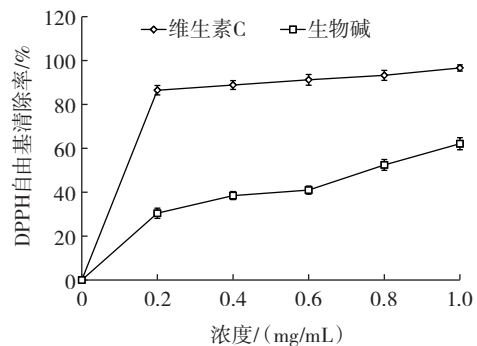


图6 荷叶生物碱的DPPH自由基清除率

Fig.6 Scavenging rate of lotus leaf alkaloids against DPPH radicals

DPPH 自由基清除能力能较好地反映被测溶液的

抗氧化活性。由图6可知,随着V_C和荷叶生物碱浓度的增加,DPPH自由基的清除率不断地升高,但荷叶生物碱对DPPH自由基清除能力低于V_C。结果表明荷叶生物碱具有一定清除DPPH自由基的能力。

2.3.3 ABTS⁺自由基清除能力

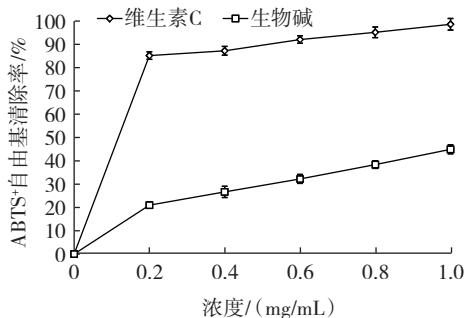


图7 荷叶生物碱的ABTS⁺自由基清除率

Fig.7 Scavenging rate of lotus leaf alkaloids against ABTS⁺ radicals

ABTS⁺自由基的检测是一种使用广泛的间接检测天然产物的抗氧化活性的方法。由图7可知,V_C和荷叶生物碱对ABTS⁺自由基清除率随浓度的增加而增大,但是荷叶生物碱的清除率低于V_C。结果表明荷叶生物碱具有一定清除ABTS⁺自由基的能力。

3 结论

采用正交试验设计优化荷叶生物碱的提取工艺,通过体外抗氧化试验探究最优提取工艺的荷叶生物碱的抗氧化能力。结果表明荷叶生物碱的最佳提取工艺条件为料液比2:20(g/mL)、乙醇浓度60%、超声时间40 min、超声温度60℃,此条件下,荷叶生物碱得率可达(1.581±0.026)%。体外抗氧化试验结果显示荷叶生物碱对羟基自由基、DPPH自由基、ABTS⁺自由基有明显的清除作用,综上,荷叶生物碱具有较好的抗氧化活性。

参考文献:

[1] ZHENG H X, HAN L T, SHI W F, et al. Research advances in lotus leaf as Chinese dietary herbal medicine[J]. American Journal of Chinese Medicine, 2022, 50(6): 1423-1445.

[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-四部: 2015年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.

The National Pharmacopoeia Commission. People's republic of China pharmacopoeia - part IV: 2015 edition[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015.

[3] 周庆峰, 康洁, 高丰衣. 一种荷叶粉营养挂面的制备工艺研究[J]. 商丘师范学院学报, 2019, 35(9): 32-36.

ZHOU Qingfeng, KANG Jie, GAO Fengyi. Process research of nutritious noodles with lotus leaves powder[J]. Journal of Shangqiu Normal University, 2019, 35(9): 32-36.

[4] 何莉萍, 谭念, 陈先雷等. 荷叶功能茶饮料工艺及稳定性研究[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(1): 92-95.

HE Liping, TAN Nian, CHEN Xianlei, et al. Studies on processing technology and stability of lotus leaf tea beverage[J]. Cereals & Oils, 2018, 31(1): 92-95.

[5] WAN Y, XIA J, XU J F, et al. Nuciferine, an active ingredient derived from lotus leaf, lights up the way for the potential treatment of obesity and obesity-related diseases[J]. Pharmacological Research, 2022, 175: 106002.

[6] KIM S M, PARK E J, LEE H J. Nuciferine attenuates lipopolysaccharide-stimulated inflammatory responses by inhibiting p38 MAPK/ATF2 signaling pathways[J]. Inflammopharmacology, 2022, 30(6): 2373-2383.

[7] FANG Z Y, JIANG X H, WANG S, et al. Nuciferine protects bovine hepatocytes against free fatty acid-induced oxidative damage by activating the transcription factor EB/peroxisome proliferator-activated receptor γ coactivator 1 α pathway[J]. Journal of Dairy Science, 2024, 107(1): 625-640.

[8] HE Y, TAO Y, QIU L, et al. Lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) leaf-fermentation supernatant inhibits adipogenesis in 3T3-L1 preadipocytes and suppresses obesity in high-fat diet-induced obese rats[J]. Nutrients, 2022, 14(20): 4348.

[9] BHAMBHANI S, KONDHARE K R, GIRI A P. Diversity in chemical structures and biological properties of plant alkaloids[J]. Molecules, 2021, 26(11): 3374.

[10] WANG Y F, ZHU W, LU D D, et al. Tetrahydropalmatine attenuates MSU crystal-induced gouty arthritis by inhibiting ROS-mediated NLRP3 inflammasome activation[J]. International Immunopharmacology, 2021, 100: 108107.

[11] LIN G S, YU Q X, XU L Q, et al. Berberine attenuates potassium oxonate- and hypoxanthine-induced hyperuricemia by regulating urate transporters and JAK2/STAT3 signaling pathway[J]. European Journal of Pharmacology, 2021, 912: 174592.

[12] 蹇睿, 杨敏, 郑书林. 小檗碱对小鼠痛性关节炎模型中NLRP3/TLRs的调控作用[J]. 重庆医科大学学报, 2020, 45(2): 251-256.

JIAN Rui, YANG Min, ZHENG Shulin. Regulatory effect of berberine on NLRP3/TLRs in mice with gouty arthritis[J]. Journal of Chongqing Medical University, 2020, 45(2): 251-256.

[13] 徐豪, 王雪竹, 俞卓利, 等. 荷叶碱对小鼠肝AML-12细胞内脂质代谢的影响[J]. 现代食品科技, 2023, 39(11): 18-24.

XU Hao, WANG Xuezu, YU Zhuoli, et al. Effects of nuciferine on lipid metabolism in mouse hepatic AML-12 cells[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(11): 18-24.

[14] 屈雅琴, 张倩玉, 谈相云, 等. 荷叶碱抑制Akt/mTOR/4EBP1-糖酵解通路抗胆管癌细胞增殖作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(8): 1297-1304, 1379.

QU Yaqin, ZHANG Qianyu, TAN Xiangyun, et al. Effect of nuciferine against the proliferation of cholangiocarcinoma cells through Akt/mTOR/4EBP1-glycolytic pathway[J]. Natural Product Research and Development, 2023, 35(8): 1297-1304, 1379.

[15] 朱依玲. 荷叶碱体内外抗炎及对DSS诱导肠炎小鼠的保护作用研究[D]. 荆州: 长江大学, 2022.

ZHU Yiling. Protective effects of nuciferine on anti-inflammatory of *in vitro* and *in vivo* and DSS induced colitis in mice[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2022.

[16] 刘明珠, 李清, 卢永昌. 红花绿绒蒿中总生物碱的含量测定[J]. 青海农林科技, 2019(3): 10-14, 37.

LIU Mingzhu, LI Qing, LU Yongchang. Determination of total alkaloids in *Meconopsis punicea*[J]. Science and Technology of Qinghai Agriculture and Forestry, 2019(3): 10-14, 37.

[17] 刘涵, 李倩倩, 程婷婷, 等. 响应面法优化滇产地参多糖的提取

- 工艺及其抗氧化活性研究[J]. 饲料研究, 2022, 45(24): 62-67.
- LIU Han, LI Qianqian, CHENG Tingting, et al. Optimization of extraction process of *Lycopus lucidus* Turcz polysaccharide in Yunnan Province by response surface methodology and antioxidant activity research[J]. Feed Research, 2022, 45(24): 62-67.
- [18] YANG T, ZHANG S P, WANG R F, et al. Polysaccharides from rhizoma panacis majoris and its anti-oxidant activity[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 86: 756-763.
- [19] 孙玉姣, 马芸皓, 王凡, 等. 不同提取方法对茯茶多糖理化性质和抗氧化作用的影响[J]. 陕西科技大学学报, 2021, 39(5): 31-38.
- SUN Yujiao, MA Yunhao, WANG Fan, et al. Influence of different extraction methods on physicochemical properties and antioxidant effects of Fu Brick tea polysaccharides[J]. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2021, 39(5): 31-38.
- [20] 刘仁林, 戴利燕, 李莉, 等. 乌饭树果实提取物抗氧化活性研究[J]. 经济林研究, 2018, 36(2): 88-93.
- LIU Renlin, DAI Liyan, LI Li, et al. Study on antioxidant activity of extracts from fruits of *Vaccinium bracteatum* Thunb.[J]. Nonwood Forest Research, 2018, 36(2): 88-93.
- [21] 刘静, 徐莉莉. 黑果腺肋花楸黄酮提取工艺优化及体外抗氧化研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 60-65.
- LIU Jing, XU Lili. Study on black fruit *Aronia* flavonoids extraction process and its antioxidant activity[J]. Food Research and Development, 2017, 38(3): 60-65.
- [22] 李晓英, 薛梅, 樊汶樵, 等. 不同生长期蓝莓叶多酚物质含量及抗氧化活性研究[J]. 经济林研究, 2018, 36(4): 40-46.
- LI Xiaoying, XUE Mei, FAN Wenqiao, et al. Study on phenolic contents and antioxidant activity in blueberry leaves during different growth periods[J]. Non-wood Forest Research, 2018, 36(4): 40-46.
- [23] 钟惠苹, 陶彩艳, 蓝峻峰, 等. 瑶药紫九牛总生物碱的提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 广东化工, 2022, 49(15): 43-47.
- ZHONG Huiping, TAO Caiyan, LAN Junfeng, et al. Extraction process optimization and antioxidant activity of total alkaloids of *Ventilago leiocarpa* Benth[J]. Guangdong Chemical Industry, 2022, 49(15): 43-47.
- [24] WANG Y J, XIONG X, HUANG G L. Ultrasound-assisted extraction and analysis of maidenhairtree polysaccharides[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2023, 95: 106395.
- [25] 谭志梅, 王晨戌, 王淑培, 等. 桂花色素的超声辅助提取工艺及其抑菌效应分析[J]. 中国调味品, 2024, 49(1): 177-182.
- TAN Zhimei, WANG Chenshu, WANG Shupe, et al. Analysis of ultrasonic-assisted extraction process and antibacterial effect of *Osmanthus fragrans* pigment[J]. China Condiment, 2024, 49(1): 177-182.

加工编辑: 孟琬星
收稿日期: 2024-02-23