

140-144; 156.

[21] Ain Noor Ul. 甘草和山楂多糖纳米制剂治疗痤疮和皮肤光老化的研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2024.

[22] Sun H L, Nai J J, Deng B Q, *et al.* *Angelica sinensis* polysaccharide-based nanoparticles for liver-targeted delivery of oridonin[J]. *Molecules*, 2024, 29(3): 731.

[23] Sun H L, Li X Y, Liu Q, *et al.* pH-Responsive self-assembled nanoparticles for tumor-targeted drug delivery[J]. *J Drug Target*, 2024, 32(6): 672-706.

[24] Shi Y N, Liu L Z, Yin M M, *et al.* Mucus- and pH-mediated controlled release of core-shell chitosan nanoparticles in the gastrointestinal tract for diabetes treatment[J]. *J Drug Target*, 2023, 31(1): 65-73.

[25] Li X Y, Zhu R R, Liu Q, *et al.* Effects of traditional Chinese medicine polysaccharides on chronic diseases by modulating gut microbiota: A review[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 282 (Pt 2): 136691.

[26] 张 婷, 孙红梅, 李 振, 等. 响应面法优化水提醇沉玄参多糖工艺及其含量分析[J]. 中国现代中药, 2021, 23(4): 679-684; 697.

凌霄花总黄酮超声提取工艺优化及其抗氧化、抗炎活性评价

李 薇¹, 马悦文¹, 陈少东², 马晶菁¹, 杨 勐¹, 王若宇¹, 杨彬豪¹, 张春芳^{3*}, 王春丽^{1*}

(1. 华东理工大学药学院, 上海市新药设计重点实验室, 制药工程与过程化学教育部工程研究中心, 上海 200237; 2. 厦门大学医学院, 福建 厦门 361102; 3. 厦门大学附属翔安医院中医科, 福建 厦门 361005)

摘要: **目的** 优化凌霄花总黄酮超声提取工艺, 并评价其抗氧化、抗炎活性。**方法** 在单因素试验基础上, 以料液比、乙醇体积分数、超声功率为影响因素, 总黄酮含量为评价指标, 响应面法优化超声提取工艺。再测定总黄酮对 DPPH、ABTS 自由基的清除能力, 以及对 5-LOX 的抑制作用。**结果** 最佳条件为料液比 1 : 45, 乙醇体积分数 71%, 超声功率 210 W, 超声时间 40 min, 超声温度 70 ℃, 总黄酮含量为 67. 16 mg/g。总黄酮对 DPPH、ABTS 自由基及 5-LOX 的 IC₅₀ 值分别为 0. 024 9、0. 019 2、0. 193 9 mg/mL。**结论** 该方法稳定可靠, 可用于超声提取抗氧化、抗炎活性较强的凌霄花总黄酮。

关键词: 凌霄花; 总黄酮; 超声提取工艺; 响应面法; 抗氧化活性; 抗炎活性

中图分类号: R284. 2 文献标志码: A 文章编号: 1001-1528(2026)07-2168-07

doi:10. 3969/j. issn. 1001-1528. 2026. 07. 006

Optimization of ultrasonic extraction process and evaluation of antioxidant and anti-inflammatory activities for total flavonoids from *Campsis grandiflora*

LI Wei¹, MA Yue-wen¹, CHEN Shao-dong², MA Jing-jing¹, YANG Meng¹, WANG Ruo-yu¹, YANG Bin-hao¹, ZHANG Chun-fang^{3*}, WANG Chun-li^{1*}

(1. School of Pharmacy, East China University of Science and Technology, Shanghai Municipal Key Laboratory for New Drug Design, Ministry of Education Engineering Research Center for Pharmaceutical Process Chemistry, Shanghai 200237, China; 2. School of Medicine, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 3. Department of Traditional Chinese Medicine, Xiang'an Hospital of Xiamen University, Xiamen 361005, China)

ABSTRACT: **AIM** To optimize the ultrasonic extraction process for total flavonoids from *Campsis grandiflora* (Thunb.) K. Schum., and to evaluate their antioxidant and anti-inflammatory activities. **METHODS** With solid-liquid ratio, ethanol concentration and ultrasonic power as influencing factors, total flavonoids content as an

收稿日期: 2025-11-25

基金项目: 国家自然科学基金 (82174141); 厦门市扶持中医药发展专项 (XWZY-2023-0617); 上海市大学生创新创业训练计划 (S202510251076)

作者简介: 李 薇 (1997—), 女, 硕士, 从事中药抗炎、抗氧化研究。E-mail: 19851636510@163.com

* 通信作者: 张春芳 (1972—), 女, 博士, 主任医师, 从事中医药治疗风湿免疫病机制研究。E-mail: 2810624579@qq.com

王春丽 (1971—), 女, 博士, 副教授, 从事中药药理学研究。E-mail: wangchunli@ecust.edu.cn

evaluation index, the ultrasonic extraction process was optimized by response surface method on the basis of single factor test. Subsequently, the scavenging capacities of total flavonoids on DPPH, ABTS free radicals, and inhibitory effects on 5-LOX were determined. **RESULTS** The optimal conditions were determined to be 1 : 45 for solid-liquid ratio, 71% for ethanol concentration, 210 W for ultrasonic power, 40 min for ultrasonic time, and 70 °C for ultrasonic temperature, the total flavonoids content was 67. 16 mg/g. The IC₅₀ values of total flavonoids on DPPH, ABTS free radicals and 5-LOX were 0. 024 9, 0. 019 2, 0. 193 9 mg/mL, respectively. **CONCLUSION** This stable and reliable method can be used for the ultrasonic extraction of total flavonoids from *C. grandiflora*, and the obtained extract shows good antioxidant and anti-inflammatory activities.

KEY WORDS: *Campsis grandiflora* (Thunb.) K. Schum.; total flavonoids; ultrasonic extraction process; response surface method; antioxidant activity; antiinflammatory activity

凌霄花为紫葳科凌霄属植物凌霄 *Campsis grandiflora* (Thunb.) K. Schum. 或美洲凌霄 *Campsis radicans* (L.) Seem. 的干燥花^[1], 具有活血破瘀、清热祛风功效, 临床上主要用于治疗血瘀所致闭经、痛经、癥瘕积聚、崩漏、血热瘙痒、疮疖、瘾疹等病症, 具有抗脑缺血^[2]、抗炎、镇痛^[3]、抗凝血^[4]、抗氧化^[1]等作用, 并且其提取物包含三萜、黄酮、花色素、脂肪酸、酚酸等多种活性物质^[5]。研究表明, 植物总黄酮提取方法主要有溶剂提取^[6]、双水相体系萃取^[7]、微波辅助提取^[8]、酶辅助提取^[9]、超声提取^[10]等, 其中超声提取可增加提取效率, 保障提取物纯度, 兼具节能环保、操作方便的优势^[11]。

目前, 已有关于凌霄花总黄酮含量测定的报道^[12], 但尚未涉及超声提取。因此, 本实验采用响应面法优化凌霄花总黄酮的超声提取工艺, 并评价其抗氧化、抗炎活性, 以期为该类成分药理活性及其作用机制的深入研究提供参考。

1 材料

1.1 试剂与药材 凌霄花由江西百仁中药饮片有限公司提供, 经华东理工大学药学院马磊教授鉴定为正品。芦丁三水合物 (CAS 号 153-18-4, 上海笛柏生物科技有限公司); 亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠 (分析纯, 上海麦克林生化科技有限公司); 1, 1-二苯基-2-苦基肼 (DPPH, CAS 号 1898-66-4)、2, 2'-联氮-双 (3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸) 二胺盐 (ABTS, CAS 号 30931-67-0) (上海源叶生物科技有限公司); 抗坏血酸 (Vc, CAS 号 50-81-7, 上海源聚生物科技有限公司); 脂肪氧化酶 (50 000 U/mg, CAS 号 9029-60-1)、去甲二氢愈创木酸 (NDGA, CAS 号 500-38-9, 上海皓鸿生物医药科技有限公司)。盐酸、硫酸、无水乙醇、邻苯三酚、磷酸氢二钠、Tris base、亚油酸、二甲酚

橙、硫酸亚铁铵、甲醇等均为分析纯。

1.2 仪器 FA2004 电子天平 (上海舜宇恒平科学仪器有限公司); DZF-6123 真空干燥箱 (上海一恒科学仪器有限公司); DLF-18 流水式中药粉碎机 (温州顶历医疗器械有限公司); KQ-300DE 数控超声波清洗器 (昆山市超声仪器有限公司); SHZ-D (Ⅲ) 循环水真空泵 (上海予华仪器设备有限公司); UV-754N 紫外-可见分光光度计 (上海悦析仪器科技有限公司)。

2 方法与结果

2.1 总黄酮含量测定

2.1.1 对照品溶液制备 参照文献 [13] 报道, 并进行改进。将 10 mg 芦丁对照品溶于 60% 乙醇中, 再定容至 100 mL 量瓶中, 即得 (质量浓度为 0. 1 mg/mL)。

2.1.2 提取液制备 将药材置于 55 °C 恒温烘箱中烘干, 粉碎, 过 20 目筛, 置于阴凉干燥处。精密称取粉末 2 g, 加入 70 mL 60% 乙醇, 在温度 70 °C、超声功率 240 W 条件下超声提取 40 min, 放冷, 抽滤, 去离子水定容至 100 mL, 即得。

2.1.3 线性关系考察 按“2. 1. 1”项下方法制备对照品溶液, 依次稀释至 0. 05、0. 1、0. 25、0. 5、1 mg/mL, 加入 0. 5 mL 5% 亚硝酸钠溶液, 反应 6 min, 接着加入 0. 5 mL 10% 硝酸铝溶液, 继续反应 6 min, 最后加入 5 mL 4% 氢氧化钠溶液显色, 静置 15 min, 在 510 nm 波长处测定吸光度^[13]。以吸光度为纵坐标 (*A*), 对照品质量浓度为横坐标 (*X*) 进行回归, 得方程为 $A=0. 902\ 2X-0. 016\ 6$ ($R^2=0. 999\ 9$), 在 0~1 mg/mL 范围内线性关系良好。

2.1.4 精密度试验 取同一份供试品溶液, 按“2. 1. 3”项下方法测定吸光度 6 次, 测得其 RSD 为 2. 42%, 表明仪器精密度良好。

2.1.5 重复性试验 精密称取药材粉末 2 g，共 6 份，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，按“2.1.3”项下方法测定吸光度，测得其 RSD 为 2.6%，表明该方法重复性良好。

2.1.6 稳定性试验 精密称取药材粉末 2 g，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，显色后于 0、10、20、30、40、50、60 min 按“2.1.3”项下方法测定吸光度，测得其 RSD 为 1.41%，表明溶液在 60 min 内稳定性良好。

2.1.7 加样回收率试验 按“2.1.5”项下方法，测得供试品溶液中总黄酮含量为 1 mg/mL。取供试品溶液 1 mL，共 6 份，分别加入 1 mg 对照品，按“2.1.2”项下方法制备供试品溶液，显色后按“2.1.3”项下方法测定吸光度，计算回收率。结果，芦丁平均加样回收率为 99.33%，RSD 为 2.94%。

2.2 单因素试验 分别对不同超声时间（10、20、30、40、50 min）、料液比（1：35、1：40、1：45、1：50、1：55）、超声温度（40、50、60、70、80 ℃）、乙醇体积分数（60%、70%、80%、90%、100%）、超声功率（180、210、240、270、300 W）进行考察，并以原始条件（超声时间 40 min，料液比 1：35，超声温度 70 ℃，乙醇体积分数 60%，超声功率 240 W）为基准。

2.2.1 超声时间 如图 1 所示，在 10~40 min 范围内总黄酮含量升高，为 40 min 时达到最大值，但 40 min 后呈现小幅降低趋势，这可能是因为提取时间延长有助于黄酮类成分完全溶解，但时间过长可能会引发氧化反应，导致其部分结构被破坏，从而含量降低^[14]，并且 30~50 min 范围内提取率差异不大，考虑时间与效率，最终确定为 40 min。

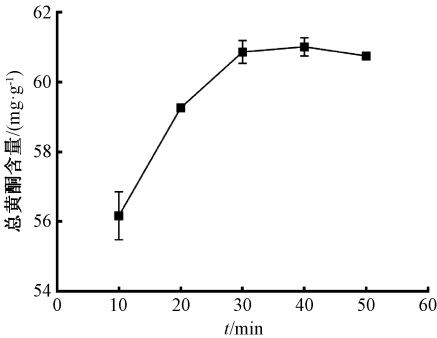


图 1 超声时间对总黄酮含量的影响 (n=3)
Fig. 1 Effect of ultrasonic time on the content of total flavonoids (n=3)

2.2.2 料液比 如图 2 所示，随着溶剂量增加总黄酮含量升高，为 1：45 时达到最大值，但 1：45 后降低，这可能是因为溶剂用量增加会形成浓度梯

度，促进黄酮类成分从细胞内部向外扩散，但溶剂过多会使其他物质溶解出来，导致其含量降低^[15]，为了优化提取过程，最终确定为 1：35、1：45、1：55。

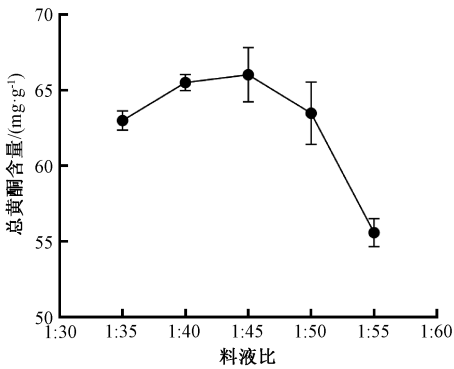


图 2 料液比对总黄酮含量的影响 (n=3)
Fig. 2 Effect of solid-liquid ratio on the content of total flavonoids (n=3)

2.2.3 超声温度 如图 3 所示，随着提取温度增加总黄酮含量升高，为 70 ℃ 时达到最大值，但 70 ℃ 后降低，这可能是因为升温能通过增加溶剂溶解性来促进黄酮类成分的溶出与扩散，提高其提取效率，但温度过高易造成杂质溶出^[16]，导致后续纯化工艺操作更复杂，考虑到节能，最终确定为 70 ℃。

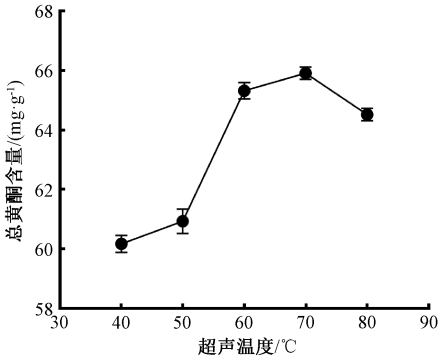


图 3 超声温度对总黄酮含量的影响 (n=3)
Fig. 3 Effect of ultrasonic temperature on the content of total flavonoids (n=3)

2.2.4 乙醇体积分数 如图 4 所示，随着乙醇体积分数增加总黄酮含量升高，为 70% 时达到最大值，但 70% 后降低，这可能是因为 70% 乙醇具有良好的溶解性，能有效破坏植物细胞壁，促进黄酮类成分释放，但其体积分数过高时，部分脂溶性杂质也会从细胞内部向外渗出，与黄酮类成分产生拮抗作用，导致其提取量降低^[17]，为了优化提取过程，最终确定为 60%、80%、100%。

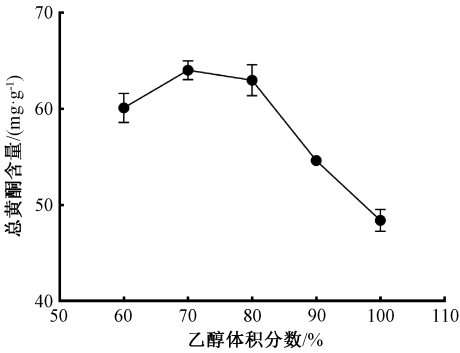


图 4 乙醇体积分数对总黄酮含量的影响 ($n=3$)
Fig. 4 Effect of volume fraction of ethanol on the content of total flavonoids ($n=3$)

2.2.5 超声功率 如图 5 所示,随着超声功率增加总黄酮含量升高,在 210 W 时达到最大值,但 210 W 后降低,这可能是因为超声波作用于提取液时,后者中的微小气泡或蒸汽泡会形成共振并逐渐膨胀,直至破裂,其间产生温度、压力非常高的冲击波,可破坏药材细胞结构,促进胞内成分释放,但随着时间延长气泡数量减少,其破裂后释放的冲击作用减弱,导致其含量升高程度逐渐减小^[18],为了优化提取过程,最终确定为 180、210、240 W。

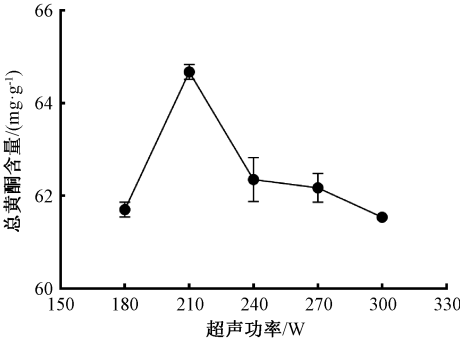


图 5 超声功率对总黄酮含量的影响 ($n=3$)
Fig. 5 Effect of ultrasonic power on the content of total flavonoids ($n=3$)

2.3 响应面法 在单因素试验基础上,选择料液比 (A)、乙醇体积分数 (B)、超声功率 (C) 作为影响因素,总黄酮含量 (Y) 作为评价指标,采用 Design-Expert 13 软件设计 17 组试验,因素水平见表 1,结果见表 2。

通过 Design-Expert 13 软件对表 2 数据进行多元回归拟合,得二次回归方程为 $Y = 65.83 - 0.1585A - 5.26B - 0.0850C - 1.19AB - 0.0543AC - 0.5278BC - 1.25A^2 - 6.04B^2 - 1.31C^2$,方差分析见表 3。由此可知,模型 $P < 0.01$,具有高度显著性; $R^2_{\text{adj}} = 0.9843$, $R^2_{\text{pred}} = 0.9163$,失拟项 $P > 0.05$,相

关系数 $R^2 = 0.9931$,表明模型拟合度良好,未知因素对结果干扰较小,数据中的变异主要由随机误差(纯误差)引起,而不是模型本身缺失重要项;因素 B 、 AB 、 A^2 、 B^2 、 C^2 有极显著影响 ($P < 0.01$);各因素影响程度依次为 $B > A > C$ 。

表 1 响应面法因素水平

因素	水平		
	-1	0	1
A 料液比	1 : 35	1 : 45	1 : 55
B 乙醇体积分数/%	60	80	100
C 超声功率/W	180	210	240

表 2 响应面法设计与结果

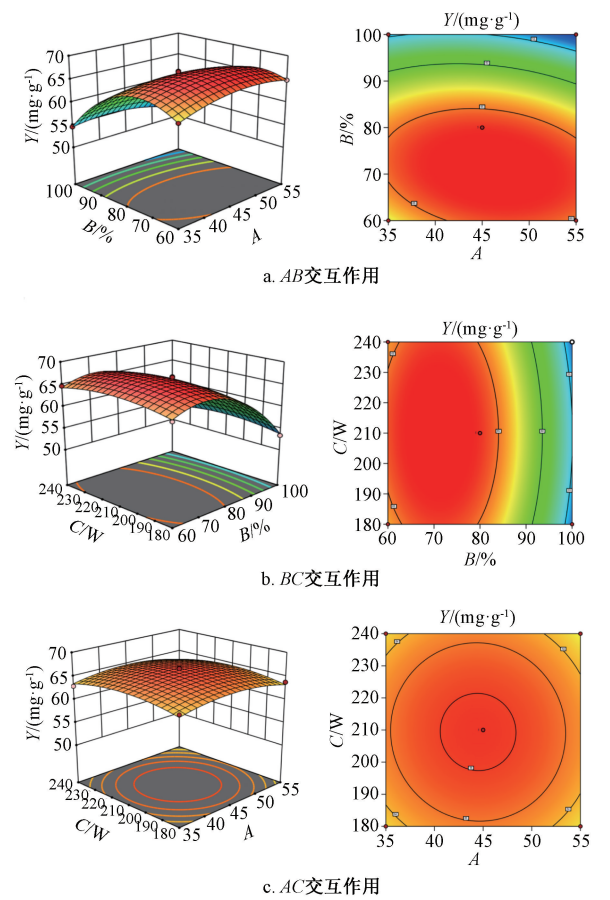
试验号	A	B	C	Y 总黄酮含量/(mg·g ⁻¹)
1	-1	-1	0	62.81
2	0	1	1	53.51
3	0	0	0	66.03
4	1	0	-1	63.75
5	0	-1	-1	62.99
6	-1	0	-1	63.93
7	0	-1	1	64.64
8	1	1	0	51.89
9	0	0	0	65.72
10	0	0	0	66.61
11	0	0	0	66.03
12	1	0	1	62.49
13	0	1	-1	53.36
14	1	-1	0	64.84
15	-1	0	1	62.89
16	-1	1	0	54.62
17	0	0	0	66.75

表 3 方差分析结果

来源	离均差平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	415.11	9	46.12	112.53	<0.0001
A	0.2009	1	0.2009	0.4902	0.5065
B	219.38	1	219.38	535.24	<0.0001
C	0.03	1	0.03	0.0732	0.7945
AB	5.66	1	5.66	13.82	0.0075
AC	0.0118	1	0.0118	0.0287	0.8702
BC	0.5634	1	0.5634	1.37	0.2794
A ²	9.76	1	9.76	23.82	0.0018
B ²	160.14	1	160.14	390.73	<0.0001
C ²	8.69	1	8.69	21.19	0.0025
残差	2.87	7	0.4099	—	—
失拟项	2.11	3	0.7046	3.73	0.1179
纯误差	0.7554	4	0.1888	—	—
总误差	417.97	16	—	—	—

响应面分析^[19]见图 6。由此可知,料液比与乙醇体积分数之间的响应面陡峭,等高线呈椭圆

形,表明两者交互作用极显著 ($P<0.01$);超声功率与乙醇体积分数、超声功率与料液比之间的响应面平缓,等高线接近于圆形,说明其交互作用不显著 ($P>0.05$)。



注:左图为三维曲面图,右侧为等高线图。A、B、C、Y 分别为料液比、乙醇体积分数、超声功率、总黄酮含量。

图 6 各因素响应面图
Fig. 6 Response surface plots for various factors

最终确定,最优工艺为料液比 1 : 44.49、超声功率 202.90 W、乙醇体积分数 70.90%,总黄酮含量为 67.20 mg/g,考虑到操作方便,将其修正为料液比 1 : 45、超声功率 210 W、乙醇体积分数 71%。按上述优化工艺进行 3 批验证试验,测得总黄酮平均含量为 67.16 mg/g,与预测值 67.20 mg/g 仅相差 0.04 mg/g,表明模型具有良好的预测性和准确性,可有效指导总黄酮提取过程。

2.4 抗氧化、抗炎活性评价

2.4.1 DPPH 自由基清除能力 参照文献 [20] 方法,并进行改良。将提取液依次稀释至 0.017 8、0.021 4、0.026 7、0.035 6、0.053 4 mg/mL,作为样品溶液,分别取 1 mL,与 4 mL 0.02 mg/mL DPPH 乙醇溶液充分混匀,室温避光反应 30 min,

在 517 nm 波长处测定吸光度,以 Vc 为对照计算清除率,公式为清除率 = $[1 - \frac{(A_1 - A_2)}{A_0}] \times 100\%$,其中 A_1 为样品溶液吸光度, A_2 为样品溶液+对照吸光度, A_0 为空白+对照吸光度,结果见图 7。由此可知,总黄酮质量浓度在 0.017 8~0.053 4 mg/mL 范围内,对 DPPH 自由基的清除率呈升高趋势,IC₅₀ 值为 0.024 9 mg/mL,而 Vc 的为 0.011 8 mg/mL。

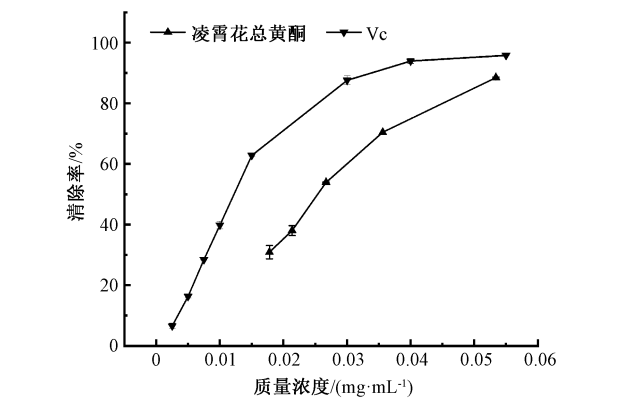


图 7 总黄酮对 DPPH 自由基的清除能力 ($n=3$)
Fig. 7 Scavenging capacity of total flavonoids on DPPH free radical ($n=3$)

2.4.2 ABTS 自由基清除能力 参照文献 [21] 方法,并进行改良。将 7 mmol/L ABTS 溶液与 2.45 mmol/L 过硫酸钾溶液等体积混合,作为工作液,避光静置 23 h,乙醇调整其在 734 nm 波长处的吸光度为 0.700 ± 0.005 ,再将提取液依次稀释至 0.006 7、0.014 9、0.018 6、0.024 8、0.037 3、0.074 5 mg/mL,作为样品溶液。取 1 mL 样品溶液,与 4 mL 工作液混合,室温避光反应 8 min,在 734 nm 波长处测定吸光度,按“2.4.1”项下公式计算清除率,结果见图 8。由此可知,总黄酮质量浓度在 0.006 7~0.074 5 mg/mL 范围内,ABTS 自由基清除率逐渐升高,IC₅₀ 值为 0.015 8 mg/mL,而 Vc 的为 0.008 2 mg/mL。

2.4.3 5-脂氧合酶 (5-LOX) 抑制作用 参照文献 [22] 方法,并进行改良。将提取液依次稀释至 0.15、0.3、0.5、0.75、1.5 mg/mL,作为样品溶液。取 0.8 mL 脂氧合酶溶液 (pH = 7.4),与 0.8 mL 样品溶液混合,在 25 ℃ 下孵育 5 min,加入 0.4 mL 亚油酸以启动酶促反应,将反应体系置于黑暗环境中,在 25 ℃ 下反应 20 min,反应完成后加入 2 mL FOX 试剂以终止进程,25 ℃ 恒温显色 30 min,在 560 nm 波长处测定吸光度,以去甲二氢愈创木酸 (NDGA) 为对照,计算抑制率,公式

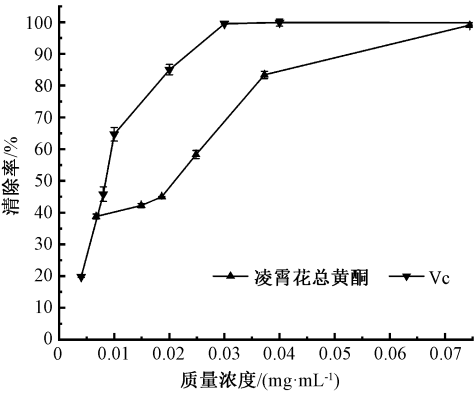


图 8 总黄酮对 ABTS 自由基的清除能力 (n=3)
Fig.8 Scavenging capacity of total flavonoids on ABTS free radical (n=3)

为抑制率= $(1-\frac{A_2-A_3}{A_0-A_1}) \times 100\%$ ，其中 A_0 为空白吸光度， A_1 为空白+对照吸光度， A_2 为样品溶液吸光度， A_3 为样品溶液+对照吸光度（设置对照时），底物亚油酸在加入 FOX 试剂后再添加，结果见图 9。由此可知，总黄酮质量浓度在 0.15 ~ 1.5 mg/mL 范围内时 5-LOX 抑制率升高， IC_{50} 值为 0.193 9 mg/mL，而 NDGA 的为 0.003 8 mg/mL，推测黄酮类成分通过混合抑制机理来作用于 5-LOX，既表现出对酶活性的高度选择性，又能有效调控目标酶的催化功能，进而实现抗炎作用^[23]。

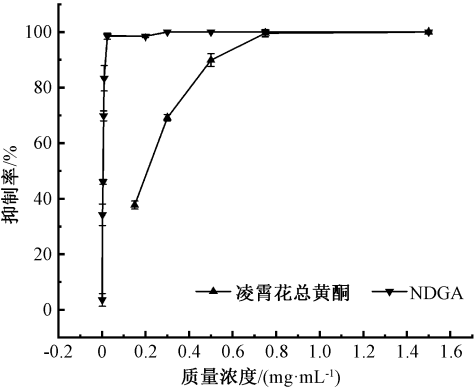


图 9 总黄酮对 5-LOX 的抑制活性 (n=3)
Fig.9 Inhibitory activity of total flavonoids on 5-LOX (n=3)

3 讨论与结论

凌霄花是中医皮肤科常用中药，其主要成分总黄酮具有抗炎、抗氧化等药理作用^[24]。超声提取的原理是超声振动产生的声流、空化剪切力、冲击波，以及微射流形成的物理力直接作用于植物细胞，从而释放代谢物^[25]，并且大量研究强调了相关参数（如溶剂、料液比、时间、温度等）对植

物有效成分的提取效率具有重要影响^[26]。

本实验首先采用单因素试验分别考察了不同超声时间、料液比、超声温度、乙醇体积分数、超声功率对总黄酮提取效果的影响，从节约能源、保护成分、减少杂质等方面考虑，将超声时间固定为 40 min，超声温度固定为最大值 70 ℃，从而实现短时高效提取。然后，选择料液比、乙醇体积分数、超声功率作为影响因素，采用响应面法发现三者重要程度依次为乙醇体积分数>料液比>超声功率，相关数据具有较高的可靠性，验证试验结果符合预期要求。最终确定，最优工艺为超声时间 40 min、料液比 1 : 45、超声温度 70 ℃、乙醇体积分数 71%、超声功率 210 W，总黄酮平均含量为 67.16 mg/g，并以剂量依赖性方式呈现较强的抗氧化、抗炎活性，有望将该类成分开发成缓解衰老、炎症等疾病保健品，也为相关天然抗氧化剂、抗炎药物的研发提供了新思路。

参考文献：

[1] 郑茜, 杨俊, 张富贵, 等. 凌霄花多酚微波提取工艺优化及其抗氧化研究[J]. 化学试剂, 2021, 43(9): 1275-1280.

[2] 方晓艳, 栗俞程, 刘丹丹, 等. 凌霄花总黄酮对脑缺血大鼠脑组织中炎症因子及趋化因子的影响[J]. 中华中医药杂志, 2016, 31(9): 3481-3483.

[3] 楚敏, 赵鲁青, 慕红丹. 凌霄花喷雾剂的药效学[J]. 中国医院药学杂志, 2000, 20(12): 726-728.

[4] 田璐璐, 方显, 祝德秋. 凌霄花提取物抗凝血活性部位研究[J]. 药物评价研究, 2014, 37(1): 17-20.

[5] 金晓琴, 沈建飞, 盛一梁, 等. 凌霄花化学及临床应用研究进展[J]. 中国处方药, 2021, 19(2): 18-20.

[6] 范亚轩, 钟温和, 龚建龄, 等. 低共熔溶剂提取沙棘籽粕总黄酮工艺优化[J]. 现代食品, 2025(3): 93-97.

[7] 高慧娟, 张佳奇, 张乐乐, 等. 乙醇-硫酸铵双水相体系萃取香椿籽总黄酮工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 中成药, 2023, 45(12): 3879-3883.

[8] 贾娟, 王婷婷, 侯亚芳. 超声提取法和微波提取法对蒲公英总黄酮提取效果影响的研究[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(15): 146-151.

[9] 杨秀东, 白子凡, 陈鑫, 等. 响应面法优化酶辅助提取鬼针草总黄酮工艺[J]. 北方园艺, 2020(11): 104-111.

[10] 温馨, 田甜, 沈悦, 等. 超声波辅助提取变叶海棠中总黄酮工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(3): 452-456; 461.

[11] Laet E D, Bernaerts T, Ares J N, et al. Influence of ultrasound-assisted extraction on the pectin extraction yield and structural characteristics: A case study on carrot pomace (*Daucus carota*) [J]. Food Bioprod Process, 2024, 148: 309-320.

[12] 代丽萍, 高爱社, 方晓艳, 等. 凌霄花提取物中总黄酮的

含量测定[J]. 中医学报, 2015, 30(5): 706-707.

[13] 黄 靖, 陈 婵, 黄晓梅. 建佛手总黄酮的超声波提取工艺优化及抗氧化分析[J]. 中国农学通报, 2021, 37(7): 126-131.

[14] 谢佳瑶, 朱慧慧, 闫璐娜, 等. 响应面法优化酸枣叶中总黄酮提取工艺及其不同品种不同部位含量差异分析[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(9): 124-128.

[15] 任美燕. 响应面优化百香果果皮黄酮提取工艺[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(1): 26-30.

[16] 姜鹏程, 陆晔晗, 常芮宁, 等. 当归藤总黄酮超声提取工艺优化[J]. 中成药, 2023, 45(12): 4081-4085.

[17] 张宽朝, 徐晨阳, 余佳琪, 等. 牡蒿总黄酮的提取、纯化及抗氧化活性分析[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(2): 281-290.

[18] 田建华, 张春媛, 魏 璐. 沙棘果渣总黄酮提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(1): 65-72.

[19] 李 莉, 张 赛, 何 强, 等. 响应面法在试验设计与优化中的应用[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(8): 41-45.

[20] Sharma O P, Bhat T K. DPPH antioxidant assay revisited[J]. *Food Chem*, 2009, 113(4): 1202-1205.

[21] Deseo M A, Elkins A, Rochfort S, *et al.* Antioxidant activity and polyphenol composition of sugarcane molasses extract[J]. *Food Chem*, 2020, 314: 126180.

[22] 郭 瑞, 李 垚, 王 萍. 三种龙葵果提取物的体外抗氧化及抗炎活性评价[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2): 94-101.

[23] 黄 云, 胡建安. 黄酮类化合物对脂氧合酶活性的影响及其生物学作用[J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2009, 23(6): 490-496.

[24] 吴 晨, 高 燕, 马旭冉, 等. 凌霄花化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国现代中药, 2025, 27(7): 1365-1378.

[25] Chemat F, Rombaut N, Sicaire A G, *et al.* Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review[J]. *Ultrason Sonochem*, 2017, 34: 540-560.

[26] Thilakarathna R C N, Siow L F, Tang T K, *et al.* Physicochemical and antioxidative properties of ultrasound-assisted extraction of mahua (*Madhuca longifolia*) seed oil in comparison with conventional Soxhlet and mechanical extractions[J]. *Ultrason Sonochem*, 2023, 92: 106280.

乳核饮提取工艺优化

江漪冉^{1,2}, 魏子轩^{1,2}, 邵孟其^{1,2}, 黄亚威^{1,2}, 张先林^{1,2}, 刘史佳^{1,2*}, 吴 磊^{1,2,3*}
(1. 南京中医药大学附属医院, 江苏 南京 210029; 2. 南京中医药大学第一临床医学院, 江苏 南京 210029; 3. 南京中医药大学附属医院中药制剂实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: **目的** 优化乳核饮提取工艺。**方法** 在单因素试验基础上, 以浸泡时间、加水量、煎煮时间为影响因素, 没食子酸、绿原酸、马钱苷、芍药苷、阿魏酸、菊苣酸、淫羊藿苷含量及出膏率为评价指标, 层次分析法 (AHP)-熵权法确定权重系数, 正交试验优化提取工艺。**结果** 最佳条件为浸泡时间 60 min、加水量 10 倍、煎煮时间 45 min、提取次数 2 次, 马钱苷、芍药苷、淫羊藿苷总含量为 4 652.00 μg/g, 没食子酸、阿魏酸、绿原酸、菊苣酸总含量为 1 420.14 μg/g, 出膏率为 28.26%。**结论** 该方法科学合理, 可为后续将乳核饮开发成医疗机构制剂提供参考。

关键词: 乳核饮; 提取工艺; 层次分析法 (AHP)-熵权法; 正交试验

中图分类号: R284.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1528(2026)07-2174-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2026.07.007

Optimization of extraction process for Ruhe Drink

JIANG Yi-ran^{1,2}, WEI Zi-xuan^{1,2}, SHAO Meng-qi^{1,2}, HUANG Ya-wei^{1,2}, ZHANG Xian-lin^{1,2},
LIU Shi-jia^{1,2*}, WU Lei^{1,2,3*}

收稿日期: 2025-11-05

基金项目: 国家中医药管理局 2025 年全国老药工传承工作室建设项目 (国中医药人教函 [2025] 181 号); 江苏省中药融合创新中心项目 (苏中医科教 [2024] 7 号); 江苏省中医药学会攀登计划项目 (PDJH2024007)

作者简介: 江漪冉 (2002—), 女, 硕士, 从事中药分析研究。E-mail: 2867462445@qq.com

*** 通信作者:** 吴 磊 (1983—), 男, 博士, 主任中药师, 从事中药制剂研究。E-mail: xiaoleiyaoshi@163.com

刘史佳 (1983—), 男, 博士, 研究员, 从事中药临床药理研究。E-mail: liushijia2011@163.com