

# 维药罗勒子总多酚提取工艺优化及体外抗氧化活性评价



王蕾<sup>1,2</sup>, 王翻红<sup>1,2</sup>, 陈沫<sup>1,2</sup>, 李珍<sup>1,2</sup>

1. 新疆华春生物药业股份有限公司研发部 (乌鲁木齐 830000)
2. 新疆神经精神领域创新药物研发重点实验室 (乌鲁木齐 830000)

**【摘要】目的** 优化维药罗勒子总多酚的超声辅助提取工艺, 并系统评价其体外抗氧化活性, 为该传统维药资源的高值化利用提供试验依据。**方法** 以罗勒子为原料, 采用单因素试验结合正交试验设计, 考察乙醇浓度、料液比及超声时间对总多酚得率的影响; 采用 DPPH 与 ABTS 自由基清除体系, 对不同提取条件下的总多酚样品进行抗氧化活性检测。**结果** 确定最优提取工艺为乙醇浓度 60%、提取时间 50 min、料液比 1:60 (g/mL), 此条件下总多酚提取量可达 8.383 1 mg/g; 所有单因素试验样品对 DPPH 自由基平均清除率为 77.42%, 对 ABTS 自由基平均清除率为 93.31%, 整体表现出稳定且优异的天然抗氧化活性。**结论** 优化后的超声辅助提取工艺操作简便、效率稳定, 可显著提升总多酚得率并有效保留其生物活性; 维药罗勒子总多酚具备开发为天然抗氧化剂、功能性食品原料或医药辅料的潜力, 为该传统维药的现代化开发提供技术支撑。

**【关键词】** 罗勒子; 总多酚; 超声辅助提取; 正交试验; 单因素试验; DPPH 自由基; ABTS 自由基; 抗氧化活性

**【中图分类号】** R29

**【文献标识码】** A

Optimization of extraction process for total polyphenols from Uyghur medicinal material *Ocimum basilicum* L. seeds and evaluation of its *in vitro* antioxidant activity

WANG Lei<sup>1,2</sup>, WANG Fanhong<sup>1,2</sup>, CHEN Mo<sup>1,2</sup>, LI Zhen<sup>1,2</sup>

1. Research and Development Department, Xinjiang Huachun Biopharmaceutical Co., Ltd., Urumqi 830000, China

2. Xinjiang Key Laboratory of Innovative Drug Research and Development in Neuropsychiatric Field, Urumqi 830000, China

Corresponding author: WANG Lei, Email: wangleimoi@163.com

**【Abstract】Objective** To optimize the ultrasonic-assisted extraction of total polyphenols from *Ocimum basilicum* L. seeds and evaluate its *in vitro* antioxidant activity, and to provide experimental evidence for the high-value utilization of traditional Uyghur medicinal material. **Methods** Using *Ocimum basilicum* L. seeds as the raw material, this study employed single-factor experiments combined with an orthogonal experimental design to investigate the effects of ethanol

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202601020

基金项目: 国家科技重大专项课题-重大新药创制科技重大专项 (2018ZX09731020); 新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目 (2022D01A326)

通信作者: 王蕾, 硕士, Email: wangleimoi@163.com

concentration, solid-to-liquid ratio and ultrasonication time on the total polyphenol yield. Using the DPPH and ABTS radical scavenging assays, the antioxidant activity of total polyphenol samples obtained under different extraction conditions was assessed. **Results** The optimal conditions were 60% ethanol, 50 min extraction, and solid-liquid ratio of 1 : 60 (g/mL), yielding 8.383 1 mg/g of total polyphenols. The average DPPH and ABTS radical scavenging rates were 77.42% and 93.31%, respectively, indicating stable and excellent antioxidant activity. **Conclusion** The optimized ultrasonic-assisted extraction process is simple and efficient, improving polyphenol yield while preserving bioactivity. The total polyphenols from *Ocimum basilicum* L. seed used in Uyghur medicinal material have the potential to be developed as natural antioxidants, functional food ingredients, or pharmaceutical excipients, and the ultrasonic-assisted extraction process provides technical support for the modern development of this traditional Uyghur medicinal resource.

**【Keywords】** *Ocimum basilicum* L. seeds; Total polyphenols; Ultrasonic-assisted extraction; Orthogonal experiment; Single-factor test; DPPH; ABTS; Antioxidant activity

罗勒子为唇形科植物罗勒 (*Ocimum basilicum* L.) 的干燥果实, 系维吾尔医临床习用药材, 拥有超过数百年的药用历史。其药用价值最早见于《注医典》《药物之园》及《白色宫殿》等维吾尔医古籍文献。在现代药材标准体系中, 该药材也被纳入《维吾尔药材标准》上册 (1993 年版) 及《卫生部药品标准维吾尔药分册》<sup>[1]</sup>。临床可用于治疗各类心脏病、心悸、痔疮出血、久泻等病症, 亦可缓解感冒头痛、胸闷、妇女闭经或月经不调及暑天所致胃肠胀气等不适<sup>[2]</sup>。罗勒子的化学成分复杂且种类丰富, 主要包含挥发油<sup>[3-4]</sup>、多酚及其苷类<sup>[5-6]</sup>、香豆素类<sup>[7]</sup>、多糖<sup>[8-9]</sup>、脂肪酸类、三萜类、皂苷类及生物碱等多种成分。Sharma 等<sup>[10]</sup>通过气相色谱-质谱联用技术对罗勒子提取物进行分析, 共鉴定出 19 种化合物, 且罗勒子中的多酚类物质以芦丁和迷迭香酸为主。现代药理研究表明, 罗勒子油具有抗肿瘤、降血糖、降血压、延长凝血时间及睡眠时间等药理活性<sup>[2, 11]</sup>。此外, 罗勒子在抗炎、抗糖尿病、抗氧化、抗菌及抗癌方面亦表现优异<sup>[12]</sup>。

多酚类物质是含有多个酚羟基的一类化合物, 此类结构特征使其具备显著的抗氧化、抗炎、抗肿瘤等生物活性, 基于此, 多酚类物质已被广泛应用于保健食品的研发与生产领域<sup>[13-15]</sup>。在临床应用的中药单体与复方中, 发挥抗炎效应的成分以黄酮、酚酸等多酚类化合物为主。中药多酚类成分可作用于抗炎相关的不同环节, 通过抑制相关信号传递、减少炎症介质生成、增强机体免疫力等多重途径, 实现对炎症反应的缓解<sup>[16]</sup>。多酚化合物的邻位酚基具有较强的氧化特性, 可通

过捕获自由基、消耗氧气发挥自由基清除作用, 同时能激活抗氧化活性酶系、螯合参与氧化过程的过渡金属离子, 从而实现抗氧化效应, 减轻氧化反应引发的机体损伤<sup>[17-18]</sup>。在抗炎层面, 多酚类物质可通过上调抗炎因子、下调促炎因子及调控相关信号通路发挥抗炎作用, 进而对炎症性疾病形成预防效果<sup>[19]</sup>。

本文以维药罗勒子为研究载体, 聚焦其核心活性成分总多酚, 采用“单因素试验筛选关键提取参数, DPPH 与 ABTS 自由基清除体系量化评价体外抗氧化活性”的研究思路, 系统开展罗勒子总多酚提取工艺优化及抗氧化性能研究。旨在为这一维吾尔医传统常用药材中多酚类活性成分的高效富集提供科学技术支撑, 并为其后续开发天然抗氧化剂、功能性食品原料、医药辅料等高价产品筑牢试验基础, 进而推动维药传统资源的现代化挖掘与创新性利用。

## 1 仪器与材料

### 1.1 主要仪器

PX423ZH/E 型电子天平 (上海奥豪斯科技有限公司); DFY-500 克型摇摆式高速中药粉碎机 (温岭市林大机械有限公司); Evolution One 系列紫外分光光度计 (美国赛默飞世尔科技有限公司); AS10200BT 型超声波清洗机 (天津奥特赛恩斯仪器有限公司)。

### 1.2 主要药品与试剂

罗勒子 (河北嘉恒冷背药业有限公司, 产地: 江苏, 批号: C202401002), 经高级实验师郝娟检验符合《河北省中药饮片炮制规范 (2024 年

版)》<sup>[20]</sup>; 没食子酸对照品(中国食品药品检定研究院, 批号: 110831, 纯度 91.5%); 福林酚试剂(生物技术级, 上海麦克林生化科技股份有限公司, 批号: F6366); PBS 缓冲液(武汉赛维尔生物科技有限公司, 批号: G2156); 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH, 上海麦克林生化科技股份有限公司, 批号: C17888258); 2,2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS, 毕得医药科技股份有限公司, 批号: GMX762); 其余试剂均为分析纯; 水为蒸馏水。

## 2 方法与结果

### 2.1 罗勒子脱脂

准确称取 150 g 罗勒子药材粉末, 置于 500 mL 烧杯中, 加入 300 mL 石油醚, 充分摇匀后室温静置浸泡过夜; 浸泡完成后进行抽滤处理, 收集滤渣并自然晾干, 随后将晾干的滤渣置于研钵中研磨至无明显颗粒状, 密封备用。

### 2.2 罗勒子总多酚的含量测定

精密称取没食子酸对照品 0.010 20 g, 置于 10 mL 量瓶内, 加蒸馏水溶解并定容至刻度, 摇匀后避光保存, 作为标准储备液。精密吸取上述标准储备液 0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 mL, 分别置于 10 mL 棕色量瓶中, 加蒸馏水定容至刻度, 配成不同浓度的标准系列溶液。精密吸取各浓度的标准溶液 1.0 mL, 置于 10 mL 避光比色管内, 依次加 1.0 mL 蒸馏水、0.5 mL 50% 福林酚试剂, 摇匀后再加入 1.5 mL 17.5% 碳酸钠溶液, 补加蒸馏水定容至刻度, 充分混匀后避光静置 1.5 h。以不含没食子酸的试剂空白为参比, 采用紫外分光光度计于 760 nm 波长处测定各溶液的吸光度( $A$ )。以没食子酸标准溶液浓度( $C$ ,  $\mu\text{g/mL}$ )为横坐标、对应 $A$ 值为纵坐标进行线性回归分析, 并绘制标准曲线。得到线性回归方程:  $A=0.0086C+0.0179$  ( $r=0.9985$ ), 结果表明没食子酸在 0~112.0  $\mu\text{g/mL}$  范围内线性关系良好。

罗勒子总多酚含量测定参考耿晓桐等<sup>[21]</sup>的方法并稍作调整。精密称取罗勒子脱脂粉末 2.0 g, 置于具塞锥形瓶中, 在超声功率 300 W 的条件下进行超声提取, 提取完成后采用抽滤法分离固液, 收集提取液备用。每个样品平行试验重复 3 次, 分别收集提取液备用。精密量取上述提取液 0.15 mL, 置于 1.5 mL EP 管中, 加水定容至刻度,

得到 10 倍稀释液。精密吸取该稀释液 1.0 mL, 置于 10 mL 比色管中, 依次加入 1.0 mL 超纯水、0.5 mL 50% 福林酚试剂和 1.5 mL 17.5% 碳酸钠溶液, 摇匀后加水定容至 10 mL。充分混匀后避光静置 1.5 h, 以试剂空白为参比, 于 760 nm 波长处测定 $A$ 值。每个平行样品均按上述步骤单独测定, 平行测定 3 次。根据没食子酸标准曲线计算总多酚浓度, 并进一步换算总多酚得率。总多酚含量计算公式如下:

$$\text{总多酚含量}(\text{mg/g})=(C \times V \times N)/(M \times 1000)$$

式中:  $C$  为根据标准曲线求得的总多酚浓度( $\mu\text{g/mL}$ );  $V$  为提取液的取样体积( $\text{mL}$ );  $N$  为罗勒子提取液的总稀释倍数;  $M$  为罗勒子脱脂粉末的称样量( $\text{g}$ )。

### 2.3 DPPH 自由基清除率的测定

DPPH 自由基清除率的测定严格参照《GB/T 39100-2020 多肽抗氧化性测定 DPPH 和 ABTS 法》<sup>[22]</sup>中的相关规定进行, 并根据试验实际条件稍作调整。采用乙醇体系显色法测定 DPPH 自由基清除率: 取 2.0 mL 0.1 mmol/L DPPH 乙醇溶液置于 5 mL 离心管中, 加入 2.0 mL 无水乙醇, 混匀后于室温避光条件下反应 30 min, 于 517 nm 波长处测定 $A$ 值, 记为空白对照 $A$ 值( $A_0$ )。此操作平行重复 3 次, 取平均值作为最终 $A_0$ 值。

分别吸取 2 mL 不同提取条件的罗勒子多酚提取液置于 5 mL 离心管中, 加入 2.0 mL 0.1 mmol/L DPPH 乙醇溶液, 于 517 nm 波长处测定 $A$ 值, 记为样品 $A$ 值( $A_1$ ); 另取 2.0 mL 无水乙醇替代 DPPH 溶液, 加入 2 mL 样品提取液, 同法测定 517 nm 波长处 $A$ 值, 记为样品本底 $A$ 值( $A_2$ )。DPPH 自由基清除率按以下公式计算:

$$\text{清除率}(\%)=[A_0-(A_1-A_2)]/A_0 \times 100\%$$

### 2.4 ABTS 自由基清除率的测定

ABTS 自由基清除率的测定也严格参照《GB/T 39100-2020 多肽抗氧化性测定 DPPH 和 ABTS 法》<sup>[22]</sup>中的相关规定进行, 并根据试验实际条件稍作调整。取 7.4 mmol/L ABTS 储备液与 2.6 mmol/L 过硫酸钾储备液按 1:1 体积比混合, 室温避光静置 12~16 h, 生成 ABTS 自由基阳离子母液。取该母液用 PBS 稀释 50 倍, 调节 734 nm 波长下 $A$ 值至  $0.70 \pm 0.02$ , 作为 ABTS 工作液。

精密吸取 0.2 mL 无水乙醇, 加入 3.8 mL

ABTS 工作液，混匀后室温避光反应 6 min，于 734 nm 波长处测定  $A$  值，记为  $A_0$ 。此操作平行重复 3 次，取平均值作为最终  $A_0$  值。

精密吸取 0.2 mL 不同提取条件的罗勒子多酚提取液，加入 3.8 mL ABTS 工作液，混匀后室温避光反应 6 min，于 734 nm 波长处测定  $A$  值，记为  $A_1$ 。以 0.2 mL 无水乙醇替代样品，于 734 nm 波长处测定  $A$  值，记为  $A_2$ ，依据“2.3”项下公式计算 ABTS 自由基清除率。

## 2.5 统计学分析

试验数据均采用 GraphPad Prism 9.5 中文版软件进行统计学处理，每组 3 次平行试验结果以平均值表示，针对正交试验数据开展极差分析与方差分析，用以判断各考察因素对罗勒子总多酚提取量的影响程度，筛选最优工艺组合， $P < 0.05$  表示差异具有统计学意义。

## 2.6 单因素试验

采用控制变量法开展单因素试验，分别考察乙醇浓度（30%~80%）、超声时间（20~90 min，梯度 10 min）、料液比（1:10~1:70，g/mL）对罗勒子总多酚得率、DPPH 自由基清除率及 ABTS 自由基清除率的影响。在考察某一因素时，其余因素固定为：乙醇浓度 60%、料液比

1:40、超声时间 60 min。每组试验平行操作 3 次。

### 2.6.1 乙醇浓度对罗勒子总多酚得率、DPPH 自由基清除率及 ABTS 自由基清除率的影响

乙醇浓度作为影响植物多酚提取的关键因素之一，其对罗勒子总多酚得率及 DPPH、ABTS 自由基清除率的影响结果如图 1 所示。当乙醇浓度为 30% 时，总多酚得率为  $(5.0209 \pm 1.035)$  mg/g；随着浓度升高，得率持续增加，至 60% 时达到最大值  $(8.4488 \pm 0.2409)$  mg/g，最小值与最大值之间差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ )。当乙醇浓度进一步升高至 70% 和 80% 时，得率分别降至  $(7.0512 \pm 0.3381)$  mg/g 和  $(7.8814 \pm 0.2612)$  mg/g。在 30%~80% 乙醇浓度范围内，罗勒子提取物的 DPPH 自由基清除率维持在 75%~85%，ABTS 自由基清除率均高于 90%，两种自由基清除率在各乙醇浓度组间差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。结果表明，该浓度区间内乙醇浓度对罗勒子提取物的抗氧化活性影响较小，提取物对 ABTS 自由基的清除能力整体优于 DPPH 自由基。综上，60% 乙醇浓度为罗勒子总多酚超声提取的最优选择，故后续正交试验以此浓度为中心进行设计。

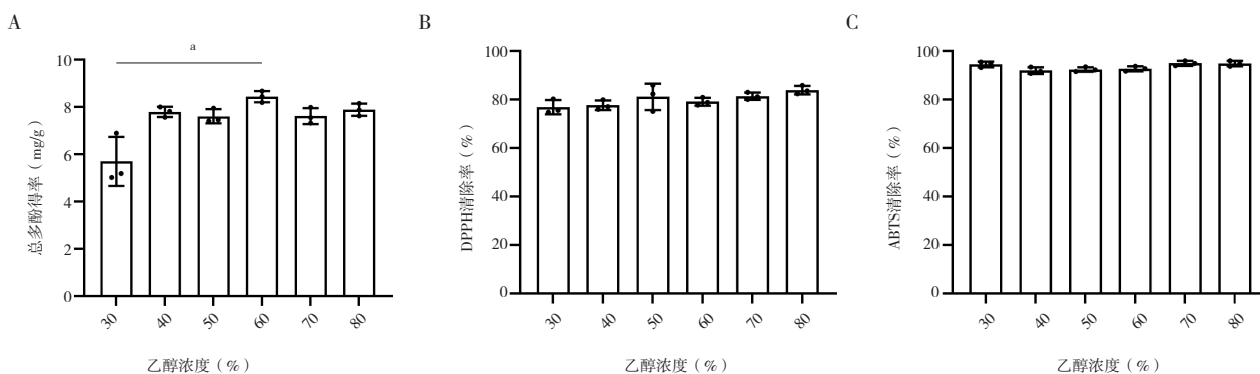


图1 乙醇浓度的影响 ( $n=3$ )

Figure 1. Effect of ethanol concentration ( $n=3$ )

注：A. 罗勒子总多酚得率；B. DPPH 自由基清除率；C. ABTS 自由基清除率； $^*P < 0.01$ 。

### 2.6.2 超声时间对罗勒子总多酚得率的影响

超声时间通过调控细胞破碎效率与多酚稳定性，对罗勒子总多酚得率及 DPPH、ABTS 自由基清除率的影响结果如图 2 所示。在 20~90 min 的超声时间范围内总多酚得率呈现先上升后下降的变化趋势。超声时间为 20 min 时，得率为  $(8.1512 \pm 0.3078)$  mg/g；随着时间延长，得率逐步升高，至 50 min 时达到峰值

$(8.6116 \pm 0.4217)$  mg/g。时间延长至 60 min 时，得率快速降至  $(8.0093 \pm 0.3021)$  mg/g；在 60~90 min 区间内，得率维持在  $(8.0093 \pm 0.3021)$  mg/g 至  $(8.1372 \pm 0.3296)$  mg/g 区间小幅波动，但均未回升至峰值水平。在 20~90 min 的超声时间范围内，罗勒子提取物的 DPPH 自由基清除率稳定在 70%~80% 区间，ABTS 自由基清除率均保持在 90% 以上的高水平，各超声时间

组间两种自由基清除率差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。结果表明,在该考察时间范围内,超声时间对罗勒子提取物的抗氧化活性无显著影响,且提取物对 ABTS 自由基的清除能力整体强于 DPPH 自由基。综上,50 min 为罗勒子总多酚超声提取的最优时间,故后续正交试验以此超声提取时间为中心进行设计。

### 2.6.3 料液比对罗勒子总多酚得率的影响

料液比对罗勒子总多酚得率及 DPPH、ABTS 自由基清除率的影响结果如图 3 所示。当料液比从 1:10 提升至 1:50 时,总多酚得率呈持续上升趋势,由  $(6.861 \pm 0.2547)$  mg/g 升至峰值  $(8.8605 \pm 0.3291)$  mg/g,二者比较差异有统计学意义 ( $P < 0.01$ )。当料液比继续增大至 1:70 时,得率逐步回落至  $(7.5209 \pm 0.2900)$  mg/g。在 1:10~1:70 的料液比范围内,罗勒子提取物的 DPPH 自由基清除率整体维持在 70%~85%,ABTS 自由基清除率均稳定在 90% 以上的高水平,各料液比组间两种自由基清除率差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。结果表明,该考察范围内料液比对罗勒子提取物的抗氧化活性影响较小,且提取物对

ABTS 自由基的清除能力整体优于 DPPH 自由基。综上,料液比 1:50 为罗勒子总多酚提取的最优参数,故后续正交试验以此料液比为中心进行设计。

### 2.7 正交试验

以单因素试验结果为依据,针对乙醇浓度、超声提取时间、料液比这 3 个核心考察因素,在各因素对应含量变化的拐点区间附近分别选取 3 个水平,开展三因素三水平正交试验设计。各组试验均设置至少 3 次平行重复,测定后取平均值用于后续分析,正交试验设计及结果分别见表 1 和表 2。

由表 2 可知,乙醇浓度对罗勒子总多酚提取量影响最大,料液比次之,提取时间影响较小,可适度延长提取时间以提升提取量。正交试验确定最优工艺为  $A_2B_2C_3$ ,即乙醇浓度 60%、提取时间 50 min、料液比 1:60 (g/mL),此条件下提取量为 8.3831 mg/g。

为进一步验证各考察因素对罗勒子总多酚得率影响的统计学显著性,对正交试验结果进行方差分析,结果见表 3。方差分析表明,乙醇浓度和料液比是影响罗勒子总多酚超声提取的关键因素 ( $P < 0.05$ ),提取时间对其的影响无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

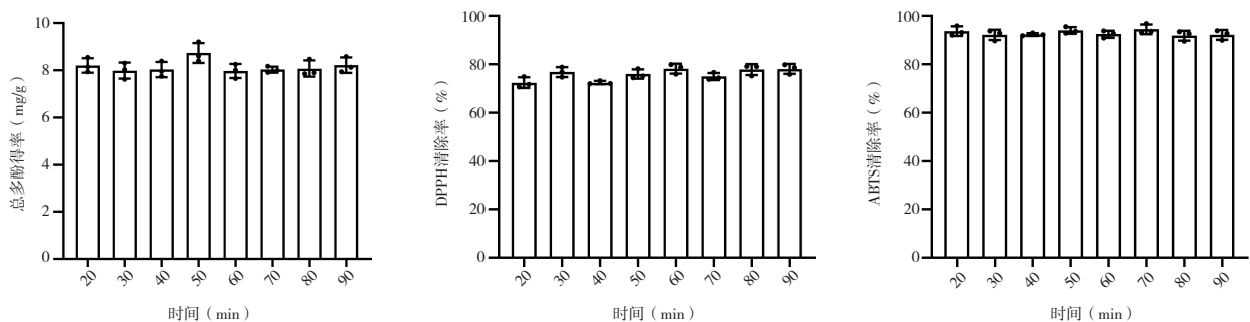


图2 超声时间的影响 ( $n=3$ )

Figure 2. Effect of ultrasonication time ( $n=3$ )

注: A. 罗勒子总多酚得率; B. DPPH自由基清除率; C. ABTS自由基清除率。

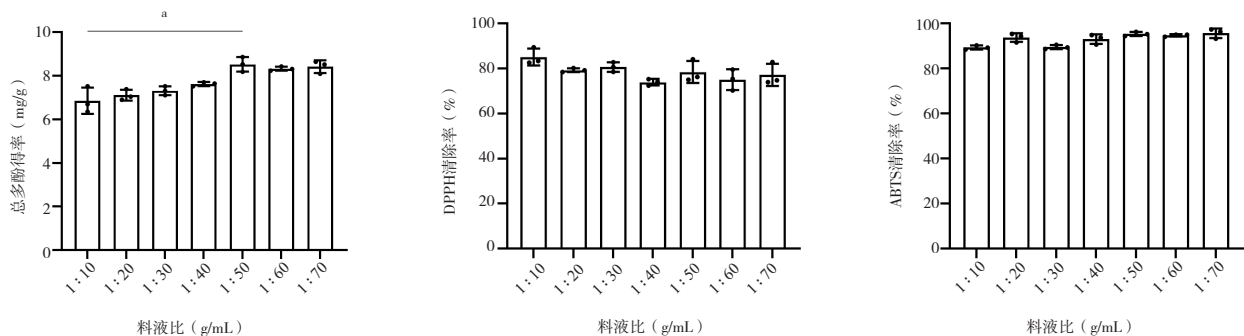


图3 料液比的影响 ( $n=3$ )

Figure 3. Effect of solid-liquid ratio ( $n=3$ )

注: A. 罗勒子总多酚得率; B. DPPH自由基清除率; C. ABTS自由基清除率,  $^*P < 0.01$ 。

表1 正交试验设计

Table 1. The design of orthogonal experiment

试验号	A 乙醇浓度 (%)	B 提取时间 (min)	C 料液比 (g/mL)
1	50	40	1 : 40
2	60	50	1 : 50
3	70	60	1 : 60

表2 正交试验结果

Table 2. The result of orthogonal experiment

试验号	A 乙醇浓度 (%)	B 提取时间 (min)	C 料液比 (g/mL)	总多酚得率 (mg/g)
1	50	40	1 : 40	6.906 4
2	50	50	1 : 50	7.594 1
3	50	60	1 : 60	7.861 6
4	60	40	1 : 50	8.136 7
5	60	50	1 : 60	8.383 1
6	60	60	1 : 40	7.643 1
7	70	40	1 : 60	7.626 4
8	70	50	1 : 40	7.886 2
9	70	60	1 : 50	8.079 5
K1	22.362 1	22.669 5	22.435 7	
K2	24.162 9	23.863 4	23.810 3	
K3	23.592 1	23.584 2	23.871 1	
k1	7.454 0	7.556 5	7.478 6	
k2	8.054 3	7.954 5	7.936 8	
k3	7.864 0	7.861 4	7.957 0	
R	0.600 3	0.398 0	0.478 4	

表3 正交试验方差分析

Table 3. Analysis of variance for orthogonal experiment

变异来源	偏差平方和	自由度	均方	F	P
A 乙醇浓度	1.441 4	2	0.720 7	17.172 7	<0.05
B 提取时间	0.633 0	2	0.316 5	7.559 6	>0.05
C 料液比	0.914 3	2	0.457 1	10.901 6	>0.05
误差e	0.083 4	2	0.041 7		
总和T	3.072 1	8			

注:  $F_{0.05}(2,2) = 19.00$ 。

### 3 讨论

本研究结合单因素与正交试验优化罗勒子总多酚超声提取工艺, 确定最优条件为乙醇浓度 60%、提取时间 50 min、料液比 1 : 60 (g/mL), 此工艺下总多酚提取量可达 8.383 1 mg/g。

罗勒子多酚以羟基酚类、迷迭香酸、咖啡酸等为主要活性成分, 其酚羟基结构是清除自由基的核心基础。羟基酚类、迷迭香酸等酚类化合物中的酚羟基可作为氢供体, 与 DPPH、ABTS 等自由基发生反应, 通过转移氢原子终止自由基链式反应, 从而发挥抗氧化作用, 这与现有研究中天然多酚类物质的抗氧化机制一致。其中, 迷迭香酸作为罗勒子多酚的主要活性组分, 其分子结构

中含有的邻二酚羟基的还原性更强, 对自由基的清除能力更突出, 这也为罗勒子总多酚良好的抗氧化活性提供了物质基础。对所有单因素试验样品的抗氧化活性检测显示, 样品对 DPPH 自由基平均清除率为 77.42%, 对 ABTS 自由基平均清除率为 93.31%, 整体抗氧化水平稳定且表现良好。

综上, 罗勒子总多酚具备天然抗氧化剂开发潜力, 本研究工艺可为其资源高值化利用提供参考。当前天然抗氧化剂因安全性高、副作用小, 在食品保鲜、保健品研发、化妆品添加剂等领域的需求日益增长, 罗勒子作为一种储量丰富、来源广泛的药食同源植物, 其多酚类成分的开发利用可实现资源的增值, 减少资源浪费。

## 参考文献

- 1 孙莲,阿不都许库尔,符继红. 罗勒子脂溶性成分的 GC-MS 法及 GC 法分析 [J]. 中成药, 2012, 34(5): 973-976. [Sun L, Abuduxiku'er, Fu JH. Analysis of fat-soluble components in basil seeds by GC-MS and GC[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2012, 34(5): 973-976.] DOI: 10.3969/j.issn.1001-1528.2012.05.057.
- 2 胡尔西丹·伊麻木,艾合米丁·外力,孙连,等. 药食兼用植物罗勒子中微量元素的分析 [J]. 微量元素与健康研究, 2020, 37(3): 49-50. [Huexidan YM, Aihemiding WL, Sun L, et al. Analysis of trace elements in medicinal and edible plant basil seed[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2020, 37(3): 49-50.] <https://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-WYJK202003025.htm>.
- 3 Do TLH, Le CT, Phung TLH, et al. Effect of NPK-SRFS on the growth, yield and essential oil composition of Basil (*Ocimum basilicum* L.) [J]. Pak J Biol Sci, 2022, 25(4): 289-295. DOI: 10.3923/pjbs.2022.289.295.
- 4 Mostafavi S, Gharneh HAA, Miransari M. The phytochemical variability of fatty acids in basil seeds (*Ocimum basilicum* L.) affected by genotype and geographical differences[J]. Food Chem, 2019, 276: 700-706. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.10.027.
- 5 Mabood F, Gilani SA, Hussain J, et al. New design of experiment combined with UV-Vis spectroscopy for extraction and estimation of polyphenols from basil seeds, Red seeds, Sesame seeds and Ajwan seeds[J]. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc, 2017, 178: 14-18. DOI: 10.1016/j.saa.2017.01.051.
- 6 Jafari SZ, Jafarian S, Hojjati M. Evaluation of antioxidant activity of nano- and microencapsulated rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) leaves extract in cress (*Lepidium sativum*) and basil (*Ocimum basilicum*) seed gums for enhancing oxidative stability of sunflower oil[J]. Food Sci Nutr, 2022, 10(6): 2111-2119. DOI: 10.1002/fsn3.2827.
- 7 阿布都许库尔·吐尔逊,孙莲,哈及尼沙. GC-MS 法分析新疆罗勒子挥发油的化学成分 [J]. 中国民族民间医药, 2013, 22(6): 21-23. [Abudouxukuer TEX, Sun L, Hajinisha. Analysis of chemical constituents of essential oil from *Ocimum basilicum* seeds in Xinjiang by GC-MS[J]. Chinese Journal of Ethnopharmacology and Ethnopharmacy, 2013, 22(6): 21-23.] DOI: 10.3969/j.issn.1007-8517.2013.06.014.
- 8 Behrouzain F, Razavi SMA, Joyner H. Mechanisms of whey protein isolate interaction with basil seed gum: influence of pH and protein-polysaccharide ratio[J]. Carbohydr Polym, 2020, 232(115775): 1-49. DOI: 10.1016/j.carbpol.2019.115775.
- 9 孙莲,王康斌. 罗勒子挥发油的化学成分及多糖的单糖组成分分析 [J]. 国际药学研究杂志, 2019, 46: 538-545. [Sun L, Wang KB. Analysis of the chemical constituents of volatile oil and the monosaccharide compositions of polysaccharide from Semen Ocimi Basilici[J]. Journal of International Pharmaceutical Research, 2019, 46: 538-545.] DOI: 10.13220/j.cnki.jipr.2019.07.009.
- 10 Sharma S, Kumari A, Dhatwalia J, et al. Effect of solvents extraction on phytochemical profile and biological activities of two *Ocimum* species: a comparative study[J]. JARMAP, 2021, 25: 100348. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214786121000577>.
- 11 Bravo HC, Céspedes NV, Zura-Bravo L. Basil seeds as a novel food, source of nutrients and functional ingredients with beneficial properties: a review[J]. Foods, 2021, 10(7): 1467. DOI: 10.3390/FOODS10071467.
- 12 Arab K, Ghanbarzadeh B, Ayaseh A, et al. Extraction, purification, physicochemical properties and antioxidant activity of a new polysaccharide from *Ocimum album* L. seed[J]. Int J Biol Macromol, 2021, 180: 643-653. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.03.088.
- 13 王琴,杨斌,顾健. 中药多酚类成分抗肿瘤表观遗传机制的研究进展 [J]. 中草药, 2023, 54(14): 4722-4731. [Wang Q, Yang B, Gu J. Research progress on antitumor epigenetic mechanism of polyphenols from traditional Chinese medicine[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(14): 4722-4731.] DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2023.14.032.
- 14 牛敏,包小琴,徐国前. 植物多酚的系统分类研究进展 [J]. 甘肃农业大学学报, 2025, 60(5): 65-85. [Niu M, Bao XQ, Xu GQ. Progress in the systematic classification of plant polyphenols[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2025, 60(5): 65-85.] DOI: 10.13432/j.cnki.jgsau.2025.05.008.
- 15 郜振甲,王欣卉,宋雪健. 植物多酚的生物合成、非生物胁迫调控与生理功能研究进展 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(15): 425-434. [Tai ZJ, Wang XH, Song XJ. Research progress of the biosynthesis, abiotic stress regulation and physiological functions in plant polyphenols[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(15): 425-434.] DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024080304.
- 16 嵇钰骞,姚燕,于洋. 中药多酚类成分通过 NF-κB 信号通路干预肺炎机制研究进展 [J]. 山东中医药大学学报, 2025, 49(4): 539-544. [Ji YQ, Yao Y, Yu Y. Research progress on mechanism of polyphenols of Chinese medicinals in intervening pneumonia through NF-κB signaling pathway[J]. Journal of Shandong University of Traditional Chinese Medicine, 2025, 49(4): 539-544.] DOI: 10.16294/j.cnki.1007-659x.2025.04.020.
- 17 吕京京,李璐,张娜. 植物性食物中结合多酚的释放及功能活性的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(4): 404-413. [Lyu JJ, Li L, Zhang N. Research progress on the release and functional activity of bound polyphenols in plant foods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(4): 404-413.] DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024020278.
- 18 Munteanu IG, Apetrei C. Analytical methods used in determining antioxidant activity: a review[J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(7): 3380. DOI: 10.3390/ijms22073380.

- 19 蔡朋举, 孙爱东, 贾国梁. 植物多酚的抗炎功效及微胶囊化研究进展 [J]. 中国食品学报, 2021, 22(7): 417-427. [Cai PJ, Sun AD, Jia GL. Research progress on anti-inflammatory activity and microencapsulation of plant polyphenols[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 22(7): 417-427.] DOI: [10.16429/j.1009-7848.2022.07.041](https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2022.07.041).
- 20 河北省食品药品监督管理局《河北省中药饮片炮制规范(2024年版)》[EB/OL]. (2024-12-30) [2025-12-12]. <https://yj.hebei.gov.cn/hbpda/xxgk/yzbz/zyppz/20241231100156114.html>.
- 21 耿晓桐, 刘琦, 张凯博. 响应面法优化地黄块根总多酚提取工艺及其抗氧化活性研究 [J]. 饲料研究, 2025, 48(14): 119-124. [Geng XT, Liu Q, Zhang KB. Study on optimization of total polyphenol extraction process from root of *Rehmannia glutinosa* by response surface method and its antioxidant activity[J]. Feed Research, 2025, 48(14): 119-124.] DOI: [10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2025.14.021](https://doi.org/10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2025.14.021).
- 22 蓝静, 任香芸, 苏昊. 儿茶素协同亚硫酸解聚山葡萄籽高聚原花青素及抗氧化研究 [J]. 食品与机械, 2025, 41(7): 149-157. [Lan J, Ren XY, Su H. Synergistic depolymerization of polymeric proanthocyanidins from *Vitis amurensis* seeds by catechin and sulfurous acid and their antioxidant activity[J]. Food & Machinery, 2025, 41(7): 149-157.] DOI: [10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80693](https://doi.org/10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80693).

收稿日期: 2026 年 01 月 06 日 修回日期: 2026 年 03 月 04 日  
本文编辑: 马琳璐 钟巧妮