

荔枝核提取物的化学成分及其抗炎活性

赵欢¹, 田玉凤¹, 杨兰兰², 牛静明³, 冉园权³, 田民义^{1,3*}

(1. 贵州大学酿酒与食品工程学院, 西南药食两用资源开发利用技术国家地方联合工程研究中心, 贵州贵阳 550025) (2. 贵州大学生命科学学院, 贵州贵阳 550025)
(3. 贵州中医药大学第一临床医学院, 贵州贵阳 550000)

摘要: 该文通过体积分数 70% 乙醇和水分别回流提取得到荔枝核醇提物和水提物。采用福林酚法和硝酸铝-亚硝酸钠比色法测定总酚酸和总黄酮含量, 表明荔枝核醇提物和水提物富含酚类和黄酮类物质, 进一步采用 UHPLC-Q-Orbitrap MS 鉴定其化学成分, 共鉴定出 72 种化学成分, 其中酚类化合物 13 种, 黄酮类成分 29 种。ABTS⁺ 和 DPPH· 消除试验发现, 醇提物和水提物对 ABTS⁺ (2.10 μg/mL 和 6.30 μg/mL) 和 DPPH· (2.98 μg/mL 和 16.90 μg/mL) 均表现出显著的清除作用。MTT 法、Griess 法和 ELISA 检测的结果表明, 醇提物在无毒性量下有效地抑制了 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞中 NO、IL-6 和 IL-1β 的释放。醇提物和水提物均表现出极好的 α-葡萄糖苷酶抑制活性 (0.14 μg/mL 和 6.03 μg/mL), 均优于阳性对照阿卡波糖 (189.40 μg/mL); 醇提物对酪氨酸酶 (139.85 μg/mL) 表现出显著的抑制作用优于阳性对照熊果苷; 醇提物表现出显著的乙酰胆碱酯酶 (34.91 μg/mL) 和丁酰胆碱酯酶 (21.91 μg/mL) 抑制活性。综上, 荔枝核富含酚类和黄酮类化合物, 具有抗氧化、抗炎、降血糖、美白和预防老年痴呆作用, 可以作为化妆品、功能性食品、药品的活性成分的原料。该文的研究结果表明荔枝核具有抗氧化、抗炎以及酶抑制活性, 为其在化妆品、食品和药品领域的开发利用提供理论基础。

关键词: 荔枝核; 化学成分; 抗炎; 抗氧化活性; 酶抑制作用

文章编号: 1673-9078(2025)02-83-93

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.2.1541

Chemical Composition and Anti-inflammatory Activity of *Litchi chinensis* Seed Extracts

ZHAO Huan¹, TIAN Yufeng¹, YANG Lanlan², NIU Jingming³, RAN Yuanquan³, TIAN Minyi^{1,3*}

(1. National & Local Joint Engineering Research Center for the Exploitation of Homology Resources of Southwest Medicine and Food, School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)
(2. College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China)
(3. First Clinical Medical College, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550000, China)

Abstract: Ethanol and aqueous extracts of lychee seeds (*Litchi chinensis* Sonn.) were obtained by reflux extraction using 70% ethanol and water, respectively. The total phenolic and flavonoid contents were determined using the Folin-Ciocalteu method and NaNO₂-Al(NO₃)₃-NaOH colorimetry. Ethanol and aqueous lychee seed extracts were rich in phenolic

引文格式:

赵欢,田玉凤,杨兰兰,等.荔枝核提取物的化学成分及其抗炎活性[J].现代食品科技,2025,41(2):83-93.

ZHAO Huan, TIAN Yufeng, YANG Lanlan, et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of *Litchi chinensis* seed extracts [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(2): 83-93.

收稿日期: 2023-12-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (82360834)

作者简介: 赵欢 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 2303203147@qq.com

通讯作者: 田民义 (1987-), 男, 博士, 高级实验师, 研究方向: 药食兼用植物开发, E-mail: mytian@gzu.edu.cn

and flavonoid compounds. Ultra-high-performance liquid chromatography–quadrupole-orbitrap mass spectrometry was used to identify their chemical compositions. A total of 72 chemical components were identified, including 13 phenolic and 29 flavonoid compounds. The ethanol and aqueous extracts showed significant 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) scavenging activities (2.10 and 6.30 $\mu\text{g/mL}$, respectively) and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging activities (2.98 and 16.90 $\mu\text{g/mL}$, respectively). The 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide, Griess reagent, and enzyme-linked immunosorbent assays showed that a non-toxic dose of the ethanol extract effectively inhibited the release of nitric oxide, IL-6 and IL-1 β in LPS-stimulated RAW264.7 cells. The ethanol and aqueous extracts demonstrated excellent α -glucosidase inhibitory activities (0.14 and 6.03 $\mu\text{g/mL}$, respectively), superior to that of the positive control, acarbose (189.40 $\mu\text{g/mL}$). The ethanol extract exhibited strong tyrosinase inhibitory activity (139.85 $\mu\text{g/mL}$), which was significantly better than that of the positive control, arbutin. Moreover, the ethanol extract exhibited remarkable acetylcholinesterase (34.91 $\mu\text{g/mL}$) and butyrylcholinesterase (21.91 $\mu\text{g/mL}$) inhibitory activities. In summary, lychee seeds are rich in phenolic and flavonoid compounds and has antioxidant, anti-inflammatory, hypoglycemic, whitening, enzyme inhibitory, and anti-Alzheimer's disease properties. These results provide a theoretical basis for the development and utilization of lychee as a source of active ingredients in the fields of cosmetics, functional foods, and pharmaceuticals.

Key words: lychee seed; chemical composition; anti-inflammation; antioxidant activity; enzyme inhibition

荔枝核为无患子科荔枝属常绿乔木荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 成熟的种子, 主要分布于我国广西、云南、四川、广东等地区, 荔枝核收载于 2020 版《中国药典》, 其性味甘、微苦, 温, 归肝、肾经, 具有行气散结、祛寒止痛的功能, 用于治疗寒疝腹痛、睾丸肿痛^[1]。现代化学成分和药理学相关研究表明, 荔枝核含有丰富的黄酮类、皂苷类、甾体类、酚酸类、多糖、萜类、鞣质和氨基酸等化学成分, 这些活性成分被证明具有抗病毒、抗氧化、抗炎、降血脂、抗糖尿病、抗肿瘤和抗肝损伤及纤维化等多种药理活性^[2-4]。此外, 荔枝核已被应用于化妆品领域, 收载于国家药监局关于发布的《已使用化妆品原料目录 (2021 年版)》^[5]。在民间, 荔枝核常被用于食品加工成蜜饮, 且用于煲汤, 如荔枝核海带汤、荔枝核葛根羹、荔枝核粳米粥、荔枝核鸡蛋汤等。此外, 人们常将成熟的荔枝核干燥研磨成粉作调味料。除鲜食外, 荔枝通常被加工成干果、罐头、果醋、果酒等。据不完全统计, 2022 年我国荔枝产量约 253.10 万 t^[6], 荔枝核废料约占整个果实鲜重的 25%, 每年产生约 63.28 万 t 的荔枝核废料, 大量废弃的荔枝核造成极大的资源浪费^[7]。因此, 亟需进行荔枝核的相关开发利用研究。

荔枝核具有食用、化妆品用和药用的价值, 然而目前荔枝核在荔枝加工生产过程中主要作为废料丢弃, 造成资源浪费的同时还污染环境。因此, 该文通过分析荔枝核提取物探究其化学成分、抗氧化、酶抑制以及抗炎作用, 为荔枝核在食品、化妆品和

药品领域的开发利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

荔枝核来源于广西贵港市; RAW264.7 巨噬细胞 (传代次数为 3 代), 购自昆明细胞库; 没食子酸、芦丁、福林酚, 北京索莱宝生物科技有限公司; DPPH 和 ABTS, 美国 Sigma 公司; 抗坏血酸, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 酪氨酸酶、 α -葡萄糖苷酶、乙 (丁) 酰胆碱酯酶、4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷, 美国 Sigma 公司; L-酪氨酸, 合肥博美生物科技有限责任公司; 阿卡波糖, 美国阿拉丁公司; 碘化乙酰硫代胆碱、S-碘化丁酰硫代胆碱、5,5'-二硫代双 (2-硝基苯甲酸), 美国麦克林公司; 熊果苷、加兰他敏, 上海索莱宝生物科技有限公司; Mouse TNF- α ELISA Kit、Mouse IL-1 β ELISA Kit、Mouse IL-6 ELISA Kit, 杭州联科生物技术股份有限公司; NO 检测试剂盒, 上海碧云天生物技术有限公司; 脂多糖、地塞米松, 北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

UHPLC-Q-Orbitrap MS, 美国赛默飞世尔科技有限公司; DMi8 倒置荧光显微镜, 德国徕卡公司; RE-3000 旋转蒸发器, 上海亚荣生化仪器厂; 超纯水机系统, 上海晨析仪器有限公司; UV-5200 紫外可见分光光度计, 上海元析仪器有限公司; LGJ-12 真空冷冻干燥机, 北京松源华兴科技发展有限公司;

3111CO₂ 培养箱, 美国赛默飞世尔科技有限公司; VARIOSKANLUX 酶标仪, 美国赛默飞世尔科技有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 提取物的制备

取 2 000 g 新鲜荔枝核打碎放于圆底烧瓶中, 分别用体积分数为 70% 的乙醇溶液或去离子水按料液比 1:3, 使用加热套并接入冷凝管回流提取 2 h 后, 重复提取两次后抽滤, 合并滤液, 旋转蒸发浓缩, 冷冻干燥。

1.3.2 总酚酸含量的测定

参考福林酚法^[8]。精确吸取不同质量浓度的样品溶液 (0.5 mL), 加入福林酚溶液 (2.5 mL), 反应 4 min, 加入碳酸钠溶液 (质量分数 7.5%, 2 mL), 混匀, 反应 1 h, 在 760 nm 处测定吸光值。以没食子酸质量浓度和吸光度绘制标准曲线。总酚酸含量以没食子酸当量表示 (mg REs/g 样品)。

1.3.3 总黄酮含量的测定

参考 NaNO₂-Al(NO₃)₃-NaOH 比色法^[8]。样品溶液 (溶于体积分数 70% 乙醇, 5 mL) 与 NaNO₂ (0.4 mL, 质量分数 5%) 混合, 静置 6 min, 与 Al(NO₃)₃ 溶液 (质量分数 10%, 0.4 mL) 反应 6 min。随后取 4 mL NaOH 溶液 (质量分数 4%) 和蒸馏水最终体积为 10 mL, 反应 15 min 后于 510 nm 处测定吸光值, 以试剂空白作对照, 芦丁质量浓度和吸光度绘制标准曲线。根据回归方程计算出质量浓度, 总黄酮含量以芦丁当量表示 (mg REs/g 样品)。

1.3.4 化学成分分析

采用高效液相色谱-四级杆静电场轨道阱串联质谱对荔枝核提取物进行化学成分鉴定。液相系统: Dionex Ultimate 3000 RSLC, 液相参数为: 柱温 (40 °C); 进样体积 (5 μL); 流量 (0.3 mL/min); 色谱柱 (Hypersil GOLD aQ, 100 mm×2.1 mm, 1.9 μm)。流动相为 A: 水 (含 0.1% 甲酸) 和 B: 乙腈 (含 0.1% 甲酸)。梯度如下: 0~2 min, 5% B; 2~42 min, 5%~95% B; 42~47 min, 95% B; 47.1 min, 5% B; 47.1~50 min, 5% B。质谱型号: 离子源参数设置: S-Lens (60); 毛细管温度 (320 °C); 鞘气 (35 arb); 喷雾电压 [3.0 kV (+) / 2.5 kV (-)]; 挡锥气 (0 arb); 探针加热器温度 (350 °C); 辅助气 (10 arb)。质谱扫描参数设置: 循环计数 (3); 强度阈值 (1.6 e5);

分辨率: Full MS (70 000 FWHM) 和 MS/MS (17 500 FWHM); NCE (20, 40, 60); MSX 计数 (1); Minimum AGC target (8 e3); AGC 目标: Full MS (1 e6) 和 MS/MS (2 e5); 隔离宽度 (1.5 m/z); 扫描模式 (Full MS-ddms2); 最大驻存时间: Full MS (100 ms), MS/MS (50 ms); 扫描范围 (100 to 1 500 m/z); Dynamic exclusion (5 s); 光谱数据类型 (Profile)。

1.3.5 抗氧化能力的测定

1.3.5.1 ABTS⁺自由基清除能力

参照文献^[9], 用无水乙醇将 ABTS 超声溶解配制成浓度为 0.7 mmol/L 的溶液, 用超纯水将 K₂S₂O₈ 超声溶解配制成浓度为 2.4 mmol/L 的溶液, 等体积混匀, 37 °C 避光静置 12~16 h, 得到 ABTS 工作母液。用无水乙醇稀释使其在 734 nm 处的吸光度 A (Absorbance) 为 0.7±0.02。以抗坏血酸和 BHT 为阳性对照。设置样品组: 18 μL 稀释后的样品溶液与 180 μL ABTS 溶液混合; 样品空白组: 18 μL 稀释后的样品溶液与 180 μL 溶剂混合; 阴性组: 18 μL 溶剂与 180 μL ABTS 溶液混合。室温避光反应 10 min 后, 于 734 nm 处测定其吸光值。计算其清除率和 IC₅₀ 值。计算公式如下:

$$C = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_3}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

C——自由基清除率, %;

A₁——样品组吸光值;

A₂——样品空白组吸光值;

A₃——阴性组吸光值。

1.3.5.2 DPPH 自由基清除能力

参照文献^[9], 以抗坏血酸和 BHT 为阳性对照。设置样品组: 100 μL 稀释后的样品溶液与 100 μL DPPH 溶液 (0.08 mmol/mL) 混合; 样品空白组: 100 μL 稀释后的样品溶液与 100 μL 溶剂混合; 阴性组: 100 μL DPPH 溶液 (0.08 mmol/mL) 与 100 μL 溶剂混合。于室温避光反应 0.5 h, 在 517 nm 处测定其吸光值。计算其清除率和 IC₅₀ 值。清除率的计算公式如上。

1.3.6 抗炎活性的测定

1.3.6.1 荔枝核细胞毒性测定

参照文献^[10], 设置空白组、阴性组和样品组。样品溶于 DMSO 后使用培养基半倍稀释。接种 100 μL 细胞 (每毫升 2×10⁵ 个) 培养于 96 孔中。24 h 后吸

弃旧培养基, 空白组加入 100 μL 培养基, 样品组加入样品溶液 (100 μL), 阴性组加入相应质量浓度的样品溶剂 (100 μL), 37 $^{\circ}\text{C}$ 培养 24 h 后每孔加入 10 μL MTT 溶液 (5 mg/mL), 孵育 4 h 后吸弃旧液, 每孔中加入 150 μL 的 DMSO, 振荡反应 10 min, 于 490 nm 处测其吸光值, 根据公式计算细胞的存活率。计算公式如下:

$$S = \frac{A_4 - A_5}{A_6 - A_5} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

S —细胞存活率, %;

A_4 —样品组吸光值;

A_5 —空白组吸光值;

A_6 —阴性组吸光值。

1.3.6.2 细胞上清液中 NO、IL-1 β 、IL-6 释放量测定

设置样品组、空白组 (Control)、阳性对照组 (地塞米松, DXM) 和脂多糖 (Lipopolysaccharide, LPS) 模型组。接种 100 μL 细胞 (每毫升 2×10^5 个) 于 96 孔板中培养 24 h; 吸弃旧液, 加入各样品溶液 (100 μL), 培养 2 h 后, 空白组加入培养基 (100 μL), 其他组加入 LPS (100 μL), 使 LPS 终质量浓度为 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 培养 24 h, 收集上清液。参照 NO 检测试剂盒检测 NO 质量浓度, 采用 ELISA 试剂盒对 IL-1 β 和 IL-6 释放量进行测定。

1.3.7 酶抑制活性分析

1.3.7.1 酪氨酸酶抑制活性

参考文献^[10], 以熊果苷为阳性对照, 设置样品组、样品空白组、阴性组和空白组。先在样品组和样品空白组中分别加 70 μL 不同质量浓度的待测样品, 阴性组和空白组中加入 70 μL PBS 缓冲液 (pH 值 6.8); 样品组和阴性组中加入 100 μL 酪氨酸酶 (100 U/mL), 样品空白组和空白组中加入 100 μL PBS 缓冲液 (pH 值 6.8), 于 37 $^{\circ}\text{C}$ 下恒温孵育 5 min。而后均加入 80 μL L-酪氨酸 (5.5 mmol/L), 于 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温孵育 0.5 h, 在 492 nm 处测定其吸光度 A (Absorbance) 值, 根据公式计算抑制率。计算公式如下:

$$I = \left(1 - \frac{A_7 - A_8}{A_9 - A_{10}}\right) \times 100\% \quad (3)$$

式中:

I —酶活性抑制率, %;

A_7 —样品组吸光值;

A_8 —样品空白组吸光值;

A_9 —阴性组吸光值;

A_{10} —空白组吸光值。

1.3.7.2 α -葡萄糖苷酶抑制活性测定

参照文献^[11], 以阿卡波糖为阳性对照; 设置样品组、样品空白组、阴性组、空白组。先在样品组和样品空白组中加入 90 μL 不同质量浓度的样品或阿卡波糖, 阴性组和空白组加入 90 μL 的 PBS (pH 值 6.8); 然后样品组和阴性组加入 10 μL 的 α -葡萄糖苷酶 (0.8 U/mL), 样品空白组和空白组加入 10 μL 的 PBS (pH 值 6.8), 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温孵育 15 min; 而后均加入 10 μL 的底物 4-硝基酚- α -D-吡喃葡萄糖苷酶 (1 mmol/L), 37 $^{\circ}\text{C}$ 孵育 15 min; 加入 80 μL 碳酸钠溶液 (0.2 mmol/L); 于 405 nm 处测定其吸光度值, 抑制率的计算公式如上。

1.3.7.3 乙(丁)酰胆碱酯酶抑制活性测定

参照文献^[12], 以加兰他敏为阳性对照药, 设置样品组、样品空白组、阴性组、空白组。在样品组和样品空白组中加入 50 μL 不同质量浓度的待测样品或加兰他敏, 阴性组和空白组中加入 50 μL PBS 缓冲液 (pH 值 8)。样品组和阴性组中加入 10 μL 乙(丁)酰胆碱酯酶 (0.5 U/mL), 样品空白组和空白组中加入 10 μL PBS 缓冲液 (pH 值 8), 4 $^{\circ}\text{C}$ 下恒温孵育 5 min。每孔均加入 20 μL 碘化乙酰硫代胆碱 (2 mmol/L) 或 S-碘化丁酰硫代胆碱 (2 mmol/L), 而后加入 20 μL 5,5' 二硫代双 (2-硝基苯甲酸) (2 mmol/L), 37 $^{\circ}\text{C}$ 反应 30 min。405 nm 处测定吸光度值, 根据公式计算抑制率。抑制率的计算公式如上。

1.3.8 统计学处理

本实验所有实验至少独立重复 3 次, 数据均以“均值 \pm 标准差”来表示, 采用 IBM SPSS Statistics 25 软件进行的单因素 ANOVA 检验或 t 检验进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 荔枝核提取物的提取率及总酚和总黄酮含量

如图 1a 所示, 基于鲜重, 荔枝核醇提物和水提物回流提取浓缩后其提取率分别为 4.44% 和 2.17%。如图 1b 所示, 醇提物和水提物总酚酸含量分别为: 172.21 mg GAE/g 样品和 44.82 mg GAEs/g 样品, 总黄酮含量分别为: 648.28 mg RE/g 样品和 132.97 mg RE/g 样品。结果表明, 荔枝核提取物富含酚类和黄酮类

物质，其中醇提物总酚和总黄酮含量均显著高于水提物 ($P < 0.001$)。

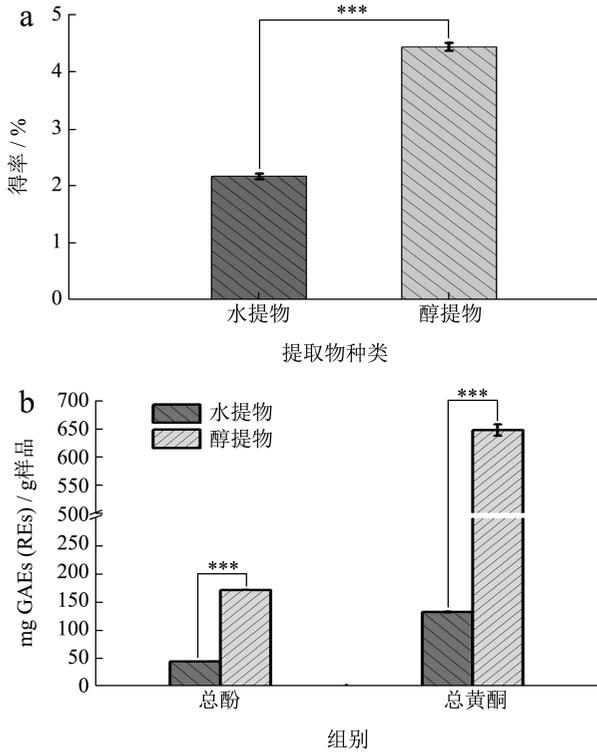


图 1 荔枝核提取物产率和总酚酸、总黄酮含量

Fig.1 The yield and the total phenol and flavone contents of litchi seed extracts

注：“mg GAE/g 样品”表示每克样品相当于多少毫克的没食子酸，“mg RE/g 样品”表示每克样品相当于多少毫克的芦丁 (** $P < 0.001$)。

2.2 荔枝核化学成分分析

采用 UHPLC-Q-OrbitrapMS 对荔枝核提取物的化学成分进行分析鉴定，如图 2 和表 1 所示，从荔枝核醇提物和水提物中共鉴定了 72 种化学成分。其中，共鉴定出 13 种酚类物质，分别为：右旋奎宁酸、莽草酸、原儿茶酸、原儿茶醛、没食子酸、7-羟基香豆素、异嗪皮啶、4-甲氧基水杨醛、去甲氧基醉椒素、5,7-二羟基-4-甲基香豆素、异茛菪亭、东茛菪内酯、秦皮素。共鉴定出 29 种黄酮类物质，分别为：原花青素 B1、原花青素 A2、芦丁、圣草酚、去甲丁香色原酮、漆黄素、桑黄素、松柏醛、松属素、木犀草素、忍冬苷、山奈酚-3-O-芸香糖苷、山奈酚、地奥司明、异樱花苷、根皮苷、根皮素、柚皮素、云香柚皮苷、异槲皮苷、异鼠李素、甘草苷、6-姜烯酚、儿茶精、槲皮素-3-葡萄糖醛酸苷、黄杞苷、(+)-儿茶素、圣草次苷、柚皮苷二氢查尔酮。

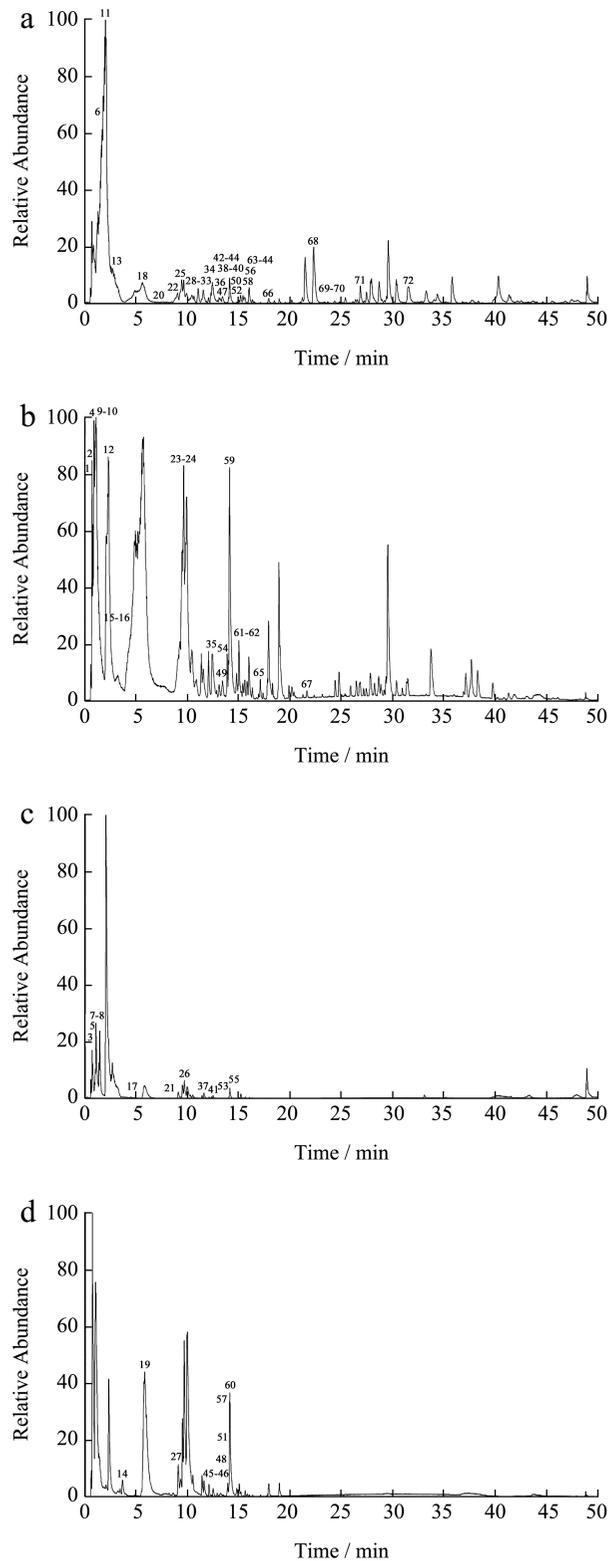


图 2 荔枝核醇提物和水提物的 UHPLC-Q-Orbitrap-MS 色谱图

Fig.2 UHPLC-Q-Orbitrap-MS chromatograms of litchi seed ethanol extract and water extract

注：a：醇提物正离子模式；b：醇提物负离子模式；c：水提物正离子模式；d：水提物负离子模式。

表 1 荔枝核醇提物和水提物化学成分分析

序号	保留时间/min	化合物	分子式	MS ⁺ (误差, 1 × 10 ⁻⁶)	二级离子碎片 MS ²	醇提物	水提物
1	0.13	对羟基肉桂酸	C ₉ H ₈ O ₃	163.03870 [M-H] ⁻ (-8.4)	162.83772, 119.04874, 85.02806	✓	✓
2	0.72	右旋奎宁酸	C ₇ H ₁₂ O ₆	191.05481 [M-H] ⁻ (-0.2)	127.03857, 93.03307, 87.00721, 85.02798	✓	✓
3	0.73	盐酸葫芦巴碱	C ₇ H ₇ NO ₂	138.05460 [M+H] ⁺ (-2.6)	110.05994, 94.06530, 65.03903	/	✓
4	0.79	蔗糖	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁	341.10764 [M-H] ⁻ (-3.8)	119.03354, 101.02290, 89.02287, 71.01234, 59.01239	✓	✓
5	0.95	腺苷	C ₁₀ H ₁₃ N ₅ O ₄	268.10318 [M+H] ⁺ (-0.9)	136.06149, 119.03510, 73.02888, 69.03405	/	✓
6	1.07	L-羟脯氨酸	C ₃ H ₅ NO ₃	132.06516 [M+H] ⁺ (-2.7)	86.09684, 69.07043, 58.06578	✓	✓
7	1.08	L-酪氨酸	C ₉ H ₁₁ NO ₃	182.08061 [M+H] ⁺ (-3.1)	165.05412, 147.04366, 119.04903, 91.05447, 65.03914	/	✓
8	1.22	L-亮氨酸	C ₆ H ₁₃ NO ₂	132.10165 [M+H] ⁺ (-1.9)	86.09684, 72.93758, 69.07042	/	✓
9	1.27	莽草酸	C ₇ H ₁₀ O ₅	173.04417 [M-H] ⁻ (-8.0)	137.02296, 111.00724, 93.03305, 83.04869, 73.02799	✓	✓
10	1.28	没食子酸	C ₇ H ₆ O ₅	169.01285 [M-H] ⁻ (-8.3)	125.02295, 97.02800, 81.03304, 69.03307	✓	✓
11	1.42	L-苯丙氨酸	C ₉ H ₁₁ NO ₂	166.08582 [M+H] ⁺ (-2.6)	120.08079, 103.05439, 93.07011, 91.05447, 53.03926	✓	/
12	2.06	柠檬酸	C ₆ H ₈ O ₇	191.01843 [M-H] ⁻ (-6.8)	129.01781, 111.00723, 87.00723, 85.02797	✓	✓
13	2.49	5-羟甲基糠醛	C ₆ H ₆ O ₃	127.03877 [M+H] ⁺ (-1.6)	109.02846, 99.04420, 81.03391, 53.03929	✓	✓
14	3.00	扁桃酸	C ₈ H ₈ O ₃	151.03873 [M-H] ⁻ (-8.9)	123.04366, 107.04871, 95.04873, 93.03305	/	✓
15	3.16	原儿茶酸	C ₇ H ₆ O ₄	153.01799 [M-H] ⁻ (-8.8)	109.02803, 108.02019, 91.01740	✓	✓
16	3.61	原儿茶醛	C ₇ H ₆ O ₃	137.02299 [M+H] ⁺ (-10.4)	136.01514, 119.01218, 93.03304	✓	✓
17	4.71	脱落酸	C ₁₅ H ₂₀ O ₄	265.14267 [M+H] ⁺ (-2.9)	175.07477, 135.07997, 119.08531, 105.06992, 91.05442	/	✓
18	6.25	苔色酸	C ₈ H ₈ O ₄	169.04909 [M+H] ⁺ (-2.6)	151.03845, 127.03867, 123.04382, 95.04929	✓	✓
19	6.86	咖啡酸	C ₉ H ₈ O ₄	179.03371 [M-H] ⁻ (-0.2)	161.04407, 135.04369, 87.00719, 59.01241	/	✓
20	7.27	东莨菪内酯	C ₁₀ H ₈ O ₄	193.04900 [M+H] ⁺ (-2.8)	178.02538, 137.05923, 133.02802, 122.03596	✓	/
21	8.18	5,7-二羟基-4-甲基香豆素	C ₁₀ H ₈ O ₄	193.04892 [M+H] ⁺ (-3.2)	150.06700, 121.06460, 105.06992, 91.05446	/	✓
22	8.85	秦皮素	C ₁₀ H ₈ O ₃	209.04378 [M+H] ⁺ (-3.2)	194.02029, 163.03838, 149.02287, 135.04364, 107.04916	✓	✓
23	9.04	原花青素 B1	C ₃₀ H ₂₆ O ₁₂	577.13348 [M-H] ⁻ (-2.9)	407.07593, 289.07086, 161.02299, 125.02296, 109.02805	✓	✓
24	9.27	(+)-儿茶素	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	289.07092 [M-H-H ₂ O] ⁻ (-2.9)	245.08081, 203.07013, 151.03871, 123.04363, 109.02798	✓	✓
25	9.45	儿茶精	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	291.08551 [M+H] ⁺ (-2.8)	165.05412, 161.05913, 147.04359, 139.03860, 123.04392	✓	✓
26	9.50	对羟基安息香醛	C ₇ H ₆ O ₂	123.04381 [M+H] ⁺ (-0.3)	105.03345, 95.04929, 77.03899, 67.05475	/	✓

续表1

序号	保留时间/min	化合物	分子式	MS ⁺ (误差, 1 × 10 ⁻⁶)	二级离子碎片 MS ²	醇提取物	水提取物
27	9.75	车叶草昔酸	C ₁₈ H ₂₄ O ₁₂	431.12195 [M-H] ⁻ (5.7)	179.05469, 119.03347, 89.02285, 59.01238, 71.01231	/	✓
28	9.81	去甲丁香色原酮	C ₁₀ H ₈ O ₄	193.04907 [M+H] ⁺ (-2.4)	153.01773, 85.02883, 67.01841	✓	✓
29	10.23	蒙本内酯	C ₁₂ H ₁₄ O ₂	191.10609 [M+H] ⁺ (-3.0)	173.09552, 145.10074, 131.08522, 105.06996, 91.05448	✓	✓
30	11.06	异葑萜亭	C ₁₀ H ₈ O ₄	193.04912 [M+H] ⁺ (-2.2)	178.02545, 137.05927, 133.02809, 122.03610	✓	✓
31	11.52	柚皮昔查尔酮	C ₁₅ H ₁₂ O ₅	273.07480 [M+H] ⁺ (-3.5)	153.01775, 147.04356, 123.04373, 119.04902, 91.05443	✓	✓
32	11.69	异嗪皮啉	C ₁₁ H ₁₀ O ₅	223.05954 [M+H] ⁺ (-2.5)	208.03584, 190.02531, 162.03052, 107.04914	✓	✓
33	11.86	柚皮素	C ₁₅ H ₁₂ O ₅	273.07492 [M+H] ⁺ (-3.0)	153.01776, 147.04358, 119.04901, 91.05448	✓	✓
34	12.06	桑黄素	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	303.04883 [M+H] ⁺ (-3.6)	229.04868, 201.05377, 153.01770, 137.02290	✓	✓
35	12.06	芦丁	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	609.14478 [M-H] ⁻ (-2.2)	300.02670, 271.02402, 255.02902, 243.02921, 151.00233	✓	✓
36	12.07	异槲皮昔	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	465.10126 [M+H] ⁺ (-3.2)	303.04883, 229.04880, 153.01770, 85.02875	✓	✓
37	12.32	阿格拉宾	C ₁₅ H ₁₈ O ₃	247.13210 [M+H] ⁺ (-3.1)	229.12132, 201.12646, 191.06943, 187.11090, 135.07994	/	✓
38	12.37	去甲氧基醉椒素	C ₁₄ H ₁₂ O ₃	229.08537 [M+H] ⁺ (-2.4)	201.12659, 187.11105, 173.13185, 109.02849, 69.03401	✓	/
39	12.43	漆黄素	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	287.05386 [M+H] ⁺ (-4.0)	137.02306, 121.02812, 68.99768	✓	✓
40	12.44	原花青素 A2	C ₃₀ H ₂₄ O ₁₂	577.13330 [M+H] ⁺ (-1.3)	425.08496, 287.05392, 123.04384	✓	✓
41	12.50	松柏醛	C ₁₀ H ₁₀ O ₃	179.06950 [M+H] ⁺ (-4.3)	161.05896, 147.04341, 133.06430, 119.04884, 91.05441	/	✓
42	12.92	芸香柚皮昔	C ₂₇ H ₃₂ O ₁₄	581.18457 [M+H] ⁺ (-3.3)	273.07458, 153.01772, 147.04346, 85.02874, 71.04966	✓	✓
43	12.93	山奈酚	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	287.05386 [M+H] ⁺ (-4.0)	213.05363, 153.01764, 137.02295,	✓	/
44	12.94	去氢吴茱萸碱	C ₁₉ H ₁₅ N ₃ O	302.12796 [M+H] ⁺ (-0.8)	287.10416, 286.09637, 272.08035	✓	/
45	12.95	山奈酚-3-O-芸香糖苷	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	593.14899 [M-H] ⁻ (-3.7)	285.03934, 255.02875, 227.03369, 107.01198	/	✓
46	13.19	柚皮昔二氢查尔酮	C ₂₇ H ₃₄ O ₁₄	581.18585 [M-H] ⁻ (-3.0)	273.07605, 179.03366, 167.03362, 123.04363, 81.03301	/	✓
47	13.22	异鼠李素	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	317.06445 [M+H] ⁺ (-3.6)	302.04089, 274.04611, 229.04855, 153.01768	✓	✓
48	13.32	壬二酸	C ₉ H ₁₆ O ₄	187.09628 [M-H] ⁻ (-7.0)	169.08546, 125.09570, 123.08010, 97.06438,	/	✓
49	13.34	3,4-二羟基苯甲酸乙酯	C ₉ H ₁₀ O ₄	181.04935 [M-H] ⁻ (-7.1)	153.01793, 152.01007, 111.00723, 109.02802,	✓	/
50	13.44	地奥司明	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₅	609.17932 [M+H] ⁺ (-3.4)	463.12161, 301.06958, 286.04623, 258.05121, 85.02882	✓	/
51	13.46	圣草次昔	C ₂₇ H ₃₂ O ₁₅	595.16504 [M-H] ⁻ (3.0)	287.05521, 151.00227, 135.04369, 107.01231	/	✓
52	13.47	圣草酚	C ₁₅ H ₁₂ O ₆	289.06961 [M+H] ⁺ (-3.7)	135.04366, 153.01770, 163.03835, 123.04383, 139.03847	✓	✓
53	13.55	7-羟基香豆素	C ₉ H ₆ O ₃	163.03844 [M+H] ⁺ (-3.3)	135.04366, 121.06457, 107.04916, 93.03372, 68.99767	/	✓

续表1

序号	保留时间/min	化合物	分子式	MS ¹ (误差, 1 × 10 ⁻⁶)	二级离子碎片 MS ²	醇提取物	水提取物
54	13.59	异樱花苷	C ₂₂ H ₂₄ O ₁₀	447.12833 [M-H] ⁻ (-3.0)	281.06592, 165.05434, 137.02296, 121.06441, 93.03305	✓	/
55	13.67	克班宁	C ₂₀ H ₂₁ NO ₄	340.15311 [M+H] ⁺ (-3.6)	309.11063, 294.08734, 279.06430, 278.09253, 263.06943	/	✓
56	13.68	忍冬苷	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₅	595.16370 [M+H] ⁺ (-3.4)	449.10611, 287.05389, 85.02873	✓	/
57	13.70	柚皮苷	C ₂₇ H ₃₂ O ₁₄	579.17023 [M-H] ⁻ (-2.9)	271.06036, 177.01791, 151.00226, 119.04876, 107.01235	/	✓
58	14.06	根皮素	C ₁₅ H ₁₄ O ₅	275.09055 [M+H] ⁺ (-3.1)	169.04895, 127.03871, 107.04937	✓	✓
59	14.18	根皮苷	C ₂₁ H ₂₄ O ₁₀	435.12811 [M-H] ⁻ (-3.6)	273.07605, 167.03363, 123.04363, 81.03304	✓	✓
60	14.61	土大黄苷	C ₂₁ H ₂₄ O ₉	419.13394 [M-H] ⁻ (-2.0)	257.13852, 211.13280, 195.13777, 71.01232, 59.01238	/	✓
61	15.56	槲皮素-3-葡萄糖醛酸苷	C ₂₁ H ₁₈ O ₁₃	477.06622 [M-H] ⁻ (-2.6)	301.03455, 255.02884, 227.03336, 133.02808	✓	/
62	15.59	木通菜乙醇苷 B	C ₂₃ H ₂₆ O ₁₁	459.12845 [M-H-H ₂ O] ⁻ (-2.7)	301.03455, 255.02884, 165.01813, 133.02808	✓	/
63	15.90	木犀草素	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	287.05402 [M+H] ⁺ (-3.5)	153.01767, 137.02299, 135.04367	✓	/
64	16.23	香豆素	C ₉ H ₆ O ₂	147.04375 [M+H] ⁺ (-9.5)	119.04918, 91.05461, 65.03917	✓	✓
65	16.72	黄杞苷	C ₂₁ H ₂₂ O ₁₀	433.11285 [M-H] ⁻ (-2.7)	315.07135, 167.03377, 152.01010, 108.02019	✓	✓
66	17.53	尼泊金异丙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	181.08537 [M+H] ⁺ (-3.0)	163.07474, 121.06460, 93.07011, 83.04953	✓	/
67	21.67	松属素	C ₁₅ H ₁₂ O ₄	255.06552 [M-H] ⁻ (-3.0)	213.05464, 171.04382, 151.00232, 107.01236	✓	✓
68	22.55	吴茱萸碱	C ₁₉ H ₁₇ N ₃ O	304.14340 [M+H] ⁺ (-3.4)	171.09102, 144.08034, 106.06517, 91.05449	✓	/
69	23.27	吴茱萸次碱	C ₁₈ H ₁₃ N ₃ O	288.11246 [M+H] ⁺ (-2.4)	273.08856, 169.07527, 120.04417	✓	/
70	23.85	α-亚麻酸	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	279.23108 [M+H] ⁺ (-2.8)	147.11630, 109.10120, 95.08574, 81.07028, 67.05480	✓	/
71	26.15	6-姜烯酚	C ₁₇ H ₂₄ O ₃	277.17899 [M+H] ⁺ (-3.0)	137.05934, 109.06483, 93.07012, 81.07030	✓	/
72	31.52	4-甲氧基水杨醛	C ₈ H ₈ O ₃	153.05412 [M+H] ⁺ (-3.3)	135.04364, 125.05944, 107.04913, 79.05463, 67.01840	✓	/

注: MS¹ 代表质谱中化合物的一级谱, MS² 代表质谱中化合物的二级谱。

表 2 荔枝核提取物抗氧化活性

Table 2 Antioxidant activity of litchi seed extracts

样品	ABTS ⁺		DPPH [•]	
	IC ₅₀ /(μg/mL)	mg AEs/g 样品	IC ₅₀ /(μg/mL)	mg AEs/g 样品
醇提取物	2.10 ± 0.07 ^b	707.22 ± 23.56 ^a	2.98 ± 0.34 ^c	818.52 ± 76.87 ^a
水提取物	6.30 ± 0.83 ^a	237.29 ± 40.87 ^b	16.90 ± 1.20 ^a	143.91 ± 14.15 ^b
抗坏血酸	1.49 ± 0.01 ^c	—	2.42 ± 0.13 ^d	—
BHT	2.15 ± 0.27 ^b	—	7.97 ± 0.84 ^b	—

注: 同列中的 a~d 不同字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$); “mg AE/g 样品”表示每克样品相当于多少毫克的抗坏血酸。

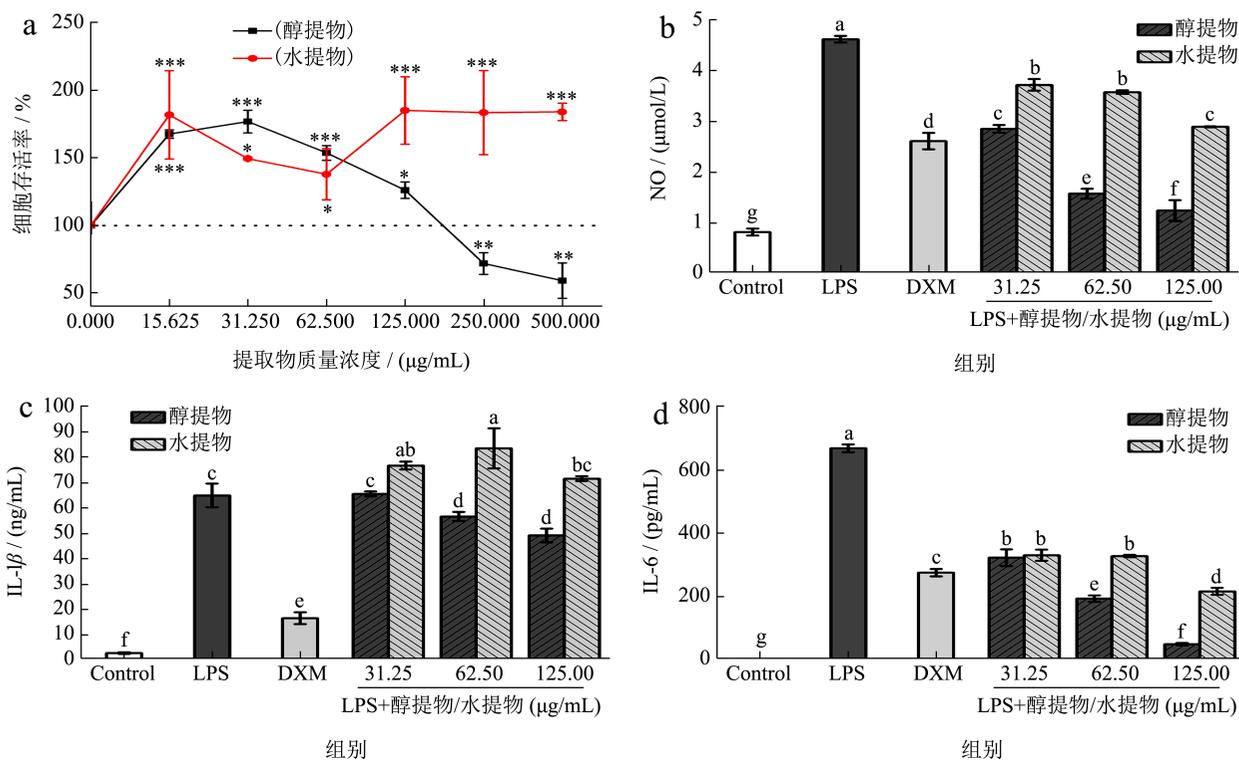


图 3 荔枝核提取物对 RAW264.7 细胞的影响

Fig.3 Effect of litchi seed extracts on RAW264.7 cells

2.3 抗氧化活性

如表 2 所知, 荔枝核水提取物对 ABTS⁺ 自由基和 DPPH 自由基均显示出强的抗氧化活性, 其 IC₅₀ 值分别为 6.30 μg/mL 和 16.90 μg/mL, 抗坏血酸当量分别为 237.29 mg AEs/g 样品和 143.91 mg AEs/g 样品; 醇提取物对 ABTS⁺ 和 DPPH 自由基均显示出显著的抗氧化活性, IC₅₀ 值分别为 2.10 μg/mL 和 2.98 μg/mL, 抗坏血酸当量分别为 707.22 mg AEs/g 样品和 818.52 mg AEs/g 样品。结果表明, 醇提取物较水提取物表现出显著的抗氧化活性。

2.4 荔枝核提取物对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞中促炎介质及细胞因子的影响

LPS 是一种存在于革兰氏阴性细菌细胞壁中的分子, 是微生物炎症的最强诱因, 通过 LPS 诱导可以

刺激细胞免疫系统产生炎症反应。由图 3a 可知, 荔枝核醇提取物质量浓度 ≥ 250 μg/mL 时显著抑制细胞生长, 有细胞毒性; 低于 125 μg/mL 时促进细胞的生长, 未显示出细胞毒性, 因此选择 31.25、62.5 和 125 μg/mL 的质量浓度进行后续试验。由图 3b~3d 可知, 模型组 (LPS) 相对于阳性对照组的 NO、IL-1β、IL-6 释放量显著地增加 ($P < 0.01$)。荔枝核提取物显著抑制了 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞的 NO 和 IL-6 的释放, 其中醇提取物 (62.5 和 125 μg/mL) 对 NO 和 IL-6 释放的抑制效果优于阳性对照地塞米松 (20 μg/mL); 此外, 醇提取物 (62.5 和 125 μg/mL) 能有效抑制 IL-1β 的释放。同等质量浓度下醇提取物比水提取物表现出更佳的抗炎活性。综上, 荔枝核提取物能有效抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞 NO、IL-1β、IL-6 的释放, 其中醇提取物的抑制效果更为显著。

表 3 荔枝核醇提物、水提物的酶抑制活性

Table 3 Enzyme inhibition of ethanol extract and water extract of litchi seed

样品	酶抑制率 IC ₅₀ /(μg/mL)				
	醇提物	水提物	熊果苷	阿卡波糖	加兰他敏
酪氨酸酶	139.85 ± 20.32 ^c	1 436.56 ± 144.04 ^a	245.83 ± 12.79 ^b	/	/
α-葡萄糖苷酶	0.14 ± 0.04 ^c	6.03 ± 0.64 ^b	/	189.40 ± 0.16 ^a	/
乙酰胆碱酯酶	32.60 ± 6.00 ^b	1 071.57 ± 126.18 ^a	/	/	0.22 ± 0.02 ^c
丁酰胆碱酯酶	21.91 ± 2.61 ^b	859.43 ± 72.41 ^a	/	/	7.76 ± 0.80 ^c

注:同行中不同字母表示具有显著性差异 ($P < 0.05$)。

2.5 荔枝核提取物酶抑制活性分析

由表 3 可知,荔枝核水提物表现出一定的酶抑制活性,其中 α-葡萄糖苷酶 (6.03 μg/mL) 优于阳性对照阿卡波糖 (232.41 μg/mL)。醇提物比水提物表现出更佳的酶抑制活性,尤其是酪氨酸酶的抑制作用 (139.85 μg/mL) 优于阳性对照熊果苷 (245.83 μg/mL),且对 α-葡萄糖苷酶的抑制活性 (0.14 μg/mL) 优于阳性对照阿卡波糖 (232.41 μg/mL)。此外,醇提物也表现出显著的乙酰 (34.91 μg/mL) 和丁酰胆碱酯酶 (21.91 μg/mL) 抑制活性。因此,荔枝核可作为酶抑制剂的良好来源。

3 讨论

植物来源的酚类和黄酮类化合物可以作为天然抗氧化剂和酶抑制剂的重要来源^[13,14]。研究表明,存在于荔枝核中的芦丁和原花青素 A2 能够增强对 DPPH 自由基的清除活性^[15];原花青素 A1 具有强的抗氧化活性^[16]。荔枝核提取物均表现出显著的抗氧化活性,醇提物的 ABTS⁺ 自由基清除作用优于阳性对照抗坏血酸。α-葡萄糖苷酶抑制剂可以通过减少碳水化合物的消化来减少餐后碳水化合物的摄入;在临床上,抑制 α-葡萄糖苷酶的活性是治疗 II 型糖尿病的有效手段^[17]。酪氨酸酶是产生黑色素的关键酶,黑色素可以防止紫外线的伤害^[18],但过多的黑色素导致许多皮肤疾病,如恶性黑色素瘤,雀斑和老年斑等^[19]。阿尔茨海默病是一种由中枢神经系统退化性变引起的记忆丧失和认知障碍的慢性疾病,人脑中低水平的胆碱能在阿尔茨海默病的发病机制中起重要作用,抑制胆碱酯酶活性是缓解阿尔茨海默病的常用手段^[20]。荔枝核醇提物表现出显著的酪氨酸酶、α-葡萄糖苷酶、乙酰胆碱酯酶和丁酰胆碱酯酶抑制活性,均显著强于水提物。酚类和黄酮类化合物可以有效抑制 α-葡萄糖苷酶的活性^[21];山奈酚有显著的酪氨酸酶抑制作用^[22];原儿茶酸和原儿

茶醛可抑制胆碱酯酶活性以及增强记忆力^[23,24]。根据 UHPLC-Q-Orbitrap-MS 的结果,共鉴定出 13 种酚类物质和 29 种黄酮类物质,荔枝核醇提物的总酚和总黄酮含量均高于水提物,这可能是醇提物的抗氧化活性和酶抑制活性优于水提物的原因。因此,荔枝核提取物的抗氧化活性和酶抑制活性可能与其富含的酚类和黄酮类化合物相关,荔枝核可作为天然的抗氧化剂和酶抑制剂来源。

炎症的发病机制与促炎因子 (NO、IL-6 和 IL-1β 等) 的过度分泌密切相关,抑制它们的产生是治疗炎症疾病的重要手段之一^[25]。荔枝核醇提物能显著抑制 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞中 NO、IL-6 和 IL-1β 的释放,尤其在中、高质量浓度时对 NO 和 IL-6 的抑制效果优于阳性对照地塞米松,且具有质量浓度依耐性,表现出强的抗炎作用。据研究报道,6-姜烯酚能降低 NO、IL-6 和 IL-1β 释放^[26];地奥司明能够减少 IL-1β、和 IL-6 的释放^[27];山奈酚能够抑制促炎细胞因子 IL-1β 的表达^[28]。上述化合物均只存在于醇提物中,这可能是醇提物抗炎活性优于水提物的原因。过去研究表明,松柏醛显示出显著的抗炎作用^[29];异槲皮苷可抑制炎症因子 NO 的释放^[30]。酚类化合物和黄酮类化合物可以有效抑制炎症反应^[31],因此,荔枝核的抗炎作用可能与其富含的酚类和黄酮类化合物相关。

4 结论

荔枝核提取物富含丰富的酚类和黄酮类化合物,对 DPPH 和 ABTS⁺ 自由基均表现出显著的自由基清除作用,有效抑制了 α-葡萄糖苷酶、酪氨酸酶、乙酰胆碱酯酶和丁酰胆碱酯酶的活性,并且表现出一定的抗炎作用,整体效果表现为醇提物优于水提物。以上结果为荔枝核在食品、化妆品和药品等行业的开发利用提供理论依据。

参考文献

- [1] 中国药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医学科技出版社, 2020.
- [2] 于培良, 赵立春, 廖夏云, 等. 荔枝核化学成分和药理活性研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2018, 27(15): 41-46.
- [3] 任嘉佳, 杨兴, 吴石丽, 等. 荔枝核的化学成分及生物活性研究[J]. 中草药, 2022, 53(24): 7664-7671.
- [4] 黄景珠, 李福建, 黄雪莲, 等. 荔枝核抗肝癌作用研究进展[J]. 右江医学, 2023, 51(9): 769-773.
- [5] 国家药品监督管理局. 国家药监局关于发布《已使用化妆品原料目录(2021年版)》的公告(2021年第62号) [EB/OL]. <https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/ggtg/hzhpqgtg/jmzhzptg/20210430162707173.html>
- [6] 陈厚彬, 苏钻贤, 杨胜男. 2022年全国荔枝生产形势分析[J]. 中国热带农业, 2022, 106(3): 5-14.
- [7] 姚莉, 戴远威, 何敏, 等. 纤维素酶辅助醇提荔枝核黄酮的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(24): 69-72.
- [8] 贾小演, 赵晓歌, 谢丹, 等. 藜藜根茎乙醇提取物对LPS诱导巨噬细胞RAW264.7炎症反应的影响[J]. 中药药理与临床, 2023, 39(3): 71-77.
- [9] 翟大才, 姚建林, 王文娟, 等. 红豆树叶挥发油化学成分及其抗氧化和抑菌活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31: 814-819.
- [10] MOSMANN T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays [J]. Journal of Immunological Methods, 1983, 65: 55-63.
- [11] 丁芙蓉, 贾小演, 吴相欢, 等. 黄姜花花的化学成分、抗氧化、酶抑制活性及抗炎作用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2024, 36(1): 13-25.
- [12] JIA X Y, YANG Y, WANG Q Q, et al. Phytochemical composition, antioxidant, anti-tyrosinase, anti-cholinesterase, and anti-inflammatory activities of *Rhynchanthus beesianus* rhizome extracts [J]. Arabian Journal of Chemistry, 2023, 16: 104952.
- [13] WU X, WEI F, DING F R, et al. Phytochemical analysis, antioxidant, antimicrobial, and anti-enzymatic properties of *Alpinia coriandriodora* (sweet ginger) rhizome [J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1284931.
- [14] PANDEY L K, SHARMA K R. Analysis of phenolic and flavonoid content, α -amylase inhibitory and free radical scavenging activities of some medicinal plants [J]. The Scientific World Journal, 2022, 2022: 4000707.
- [15] 尹蕊, 杨兴, 董维茂, 等. 盐炙荔枝核化学成分及其抗氧化活性研究[J/OL]. 中成药, 2024, 1-7[2024-03-06].
- [16] XU X, XIE H, WANG Y, et al. A-type proanthocyanidins from lychee seeds and their antioxidant and antiviral activities [J]. Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(22): 11667-11672.
- [17] GAO Y F, BIAN W H, FANG Y Y, et al. α -Glucosidase inhibitory activity of fermented okara broth started with the strain bacillus amyloliquefaciens SY07 [J]. Molecules, 2022, 27: 1127.
- [18] SUN L, GUO Y, ZHANG Y, et al. Antioxidant and anti-tyrosinase activities of phenolic extracts from rape bee pollen and inhibitory melanogenesis by cAMP/MITF/TYR pathway in B16 mouse melanoma cells [J]. Frontier in Pharmacology, 2017, 8: 104.
- [19] BRENNER M, HEARING V J. The protective role of melanin against UV damage in human skin [J]. Photochemistry Photobiology, 2008, 84(3): 539-549.
- [20] SHARMA K. Cholinesterase inhibitors as Alzheimer's therapeutics (Review) [J]. Molecular Medicine Reports, 2019, 20: 1479-1487.
- [21] GONCALVES S, ROMANO A. Inhibitory properties of phenolic compounds against enzymes linked with human diseases [J]. Phenolic Compounds-Biological Activity, 2017, 40(5): 99-118.
- [22] SOLIMINE J, GARO E, WEDLER J, et al. Tyrosinase inhibitory constituents from a polyphenol enriched fraction of rose oil distillation wastewater [J]. Fitoterapia, 2016, 108: 13-19.
- [23] ADEFEGHA S A, OBOH G, OMOJOKUN O S, et al. Alterations of Na^+/K^+ -ATPase, cholinergic and antioxidant enzymes activity by protocatechuic acid in cadmium-induced neurotoxicity and oxidative stress in wistar rats [J]. Biomedicine and Pharmacotherapy, 2016, 83: 559-568.
- [24] ADEROGBA M A, NDHLALA A R, VAN STADEN J. Acetylcholinesterase inhibitory activity and mutagenic effects of *Croton penduliflorus* leaf extract constituents [J]. South African Journal of Botany, 2013, 87: 48-51.
- [25] ZHAO H, WU L, YAN G, et al. Inflammation and tumor progression: signaling pathways and targeted intervention [J]. Signal Transduction and Targeted Therapy, 2021, 6: 263.
- [26] BISCHOFF-KONT I, FÜRST R. Benefits of ginger and its constituent 6-Shogaol in inhibiting inflammatory processes [J]. Pharmaceuticals, 2021, 14: 571.
- [27] FATTORI V, RASQUEL-OLIVEIRA F S, ARTERO N A, et al. Diosmin treats lipopolysaccharide-induced inflammatory pain and peritonitis by blocking NF- κ B activation in mice [J]. Natural Products, 2020, 83(4): 1018-1026.
- [28] YEON M J, LEE M H, KIM D H, et al. Anti-inflammatory effects of Kaempferol on *Helicobacter pylori*-induced inflammation [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2019, 83(1): 166-173.
- [29] RADNAI B, TUCSEK Z, BOGNAR Z, et al. Ferulaldehyde, a water-soluble degradation product of polyphenols, inhibits the lipopolysaccharide-induced inflammatory response in mice [J]. Nutrition and Disease, 2009, 139: 291-297.
- [30] 刘天旭, 李娟, 蒋国君, 等. 异槲皮苷对脂多糖诱导RAW264.7细胞产生炎症因子的调控[J]. 医药导报, 2017, 36(6): 601-605.
- [31] HUSSAIN T, TAN B, YIN Y, et al. Oxidative stress and inflammation: what polyphenols can do for us [J]. Oxidative Medicine Cellular Longevity, 2016, 2016: 7432797.