DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2026.16.001

龙眼核多酚体外抗炎活性及化学成分

李笑颜[1],曾凡珂[2],周伟[2],彭芍丹[2],方蕾[2],张怡[1*],李积华[1,2*]
(1.福建农林大学 食品科学学院,福建 福州 350002;2.中国热带农业科学院农产品加工研究所/农业农村部热带作物产品加工重点实验室,广东 湛江 524001)

摘 要:该文以石硖龙眼核为研究对象,使用60%乙醇制备龙眼核多酚提取物,用有机溶剂进行萃取,分别得到乙酸乙酯相、二氯甲烷相、正丁醇相和萃取后水相。对龙眼核不同萃取相总酚、总黄酮、总原花青素和总单宁含量进行测定;通过脂多糖(lipopolysaccharide,LPS)诱导RAW264.7细胞建立炎症模型,检测不同萃取相龙眼核多酚对RAW264.7细胞一氧化氮(nitric oxide,NO)、活性氧(reactive oxygen species,ROS)释放量、细胞炎症因子浓度的影响;最后使用超高效液相色谱串联质谱(liquid chromatography-tandem mass spectrometry,LC-MS/MS)对多酚进行成分鉴定分析。结果表明:乙酸乙酯相总酚、总黄酮、总原花青素和总单宁含量分别为(635.56±15.55)mg GAE/g DW、(109.96±2.31)mg RE/g DW、(24.06±1.39)mg EPE/g DW、(8.22±0.05)mg TAE/g DW,在4个萃取相中均最高;乙酸乙酯相龙眼核多酚对RAW264.7细胞NO、ROS、肿瘤坏死因子-α(tumor necrosis factor-α,TNF-α)、白细胞介素-6(interleukin-6,IL-6)释放均有一定的抑制作用,且都具有浓度依赖性,与其余相比较整体抗炎效果较好;乙酸乙酯相中主要检出20种酚类物质,以酚酸和黄酮类多酚为主,其中儿茶素相对含量最高。综上所述,乙酸乙酯相龙眼核多酚具有一定的抗炎潜力。

关键词:龙眼核;多酚;分级萃取;抗炎;儿茶素

Anti-inflammatory Activities *in vitro* and Chemical Constituents of Polyphenols from Longan Seeds

LI Xiaoyan[1],ZENG Fanke[2],ZHOU Wei[2],PENG Shaodan[2],FANG Lei[2],ZHANG Yi[1*],LI Jihua[1,2*]
(1. College of Food Science,Fujian Agriculture and Forestry University,Fuzhou 350002,Fujian,China;
2. Agricultural Products Processing Research Institute,Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences/Key Laboratory of Tropical Crop Products Processing of Ministry of Agriculture and Rural Affairs,Zhanjiang 524001,Guangdong,China)

Abstract:This study focuses on 'Shixia' longan seed polyphenols. The crude polyphenol extract of longan seed was prepared with 60% ethanol, and sequential organic solvent extraction afforded four distinct phases: ethyl acetate, dichloromethane, n-butanol, and aqueous phases. The total phenolic, flavonoid, proanthocyanidin and tannin contents were determined in different extraction phases of longan seeds. An inflammatory model was established in RAW264.7 cells by lipopolysaccharide (LPS) stimulation. The effects of different extraction phases of longan seed polyphenols on nitric oxide (NO) release, reactive oxygen species (ROS) levels, and inflammatory cytokine production in RAW264.7 cells were evaluated. Finally, liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) was employed to identify the polyphenolic components in the active extract phase. The results indicated that the ethyl acetate fraction contained the following amounts of total phenols, total flavonoids, total proanthocyanidins, and total tannins: (635.56±15.55) mg GAE/g DW, (109.96±2.31) mg RE/g DW, (24.06±1.39) mg EPE/g DW, and (8.22±0.05) mg TAE/g DW. Ethyl acetate fraction polyphenols exhibited concentration-dependent inhibitory effects on nitric oxide (NO) release, reactive oxygen species (ROS) levels, tumor necrosis factor-α (TNF-α), interleukin-6 (IL-6), and prostaglandin E_2 (PGE_2) in RAW264.7 cells, and its overall anti-inflammatory effect was superior compared with the other fractions. The ethyl acetate fraction contained 20 phenolic compounds, mainly phenolic acids and flavonoids, among which catechin had the highest relative content. In conclusion, ethyl acetate-extracted polyphenols from longan seeds demonstrate potential anti-inflammatory activity.

基金项目:国家重点研发计划项目(2024YFD2100601);国家荔枝龙眼产业技术体系(CARS-32);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1630012025202、1630012025215)

作者简介:李笑颜(2001—),女(汉),在读硕士研究生,研究方向:天然产物活性。
*通信作者:张怡(1975—),女,教授,研究方向:天然产物研究与开发;李积华(1979—),男,研究员,研究方向:农产品加工与贮藏。

Key words: longan seed; polyphenols; fractional extraction; anti-inflammatory; catechin

引文格式：
李笑颜，曾凡珂，周伟，等 . 龙眼核多酚体外抗炎活性及化学成分[J]. 食品研究与开发，2026，47(16)：1-8.
LI Xiaoyan, ZENG Fanke, ZHOU Wei, et al. Anti-inflammatory Activities *in vitro* and Chemical Constituents of Polyphenols from Longan Seeds[J]. Food Research and Development, 2026, 47(16): 1-8.

龙眼（*Dimocarpis longan* Lour.）属于无患子科（Sapindaceae），广泛分布于热带、亚热带地区。我国是龙眼的原产地之一，产量和种植面积均居世界第一，2025 年据生产调度数据统计，全国龙眼种植面积在 27.33 万 hm^2 左右，全年总产量可达 244 万 t[1]。龙眼核占龙眼鲜果重的 17%~23%。传统中医中常以龙眼核入药，用于止血、定痛、烫伤等[2-3]；现代研究表明，龙眼核含有丰富的多酚类、黄酮类、糖类等活性物质，具有抗氧化、降血脂、降血糖、抗肿瘤、止血、抗炎、镇痛等活性[4-7]，是我国药食两用的植物之一。

炎症是身体对感染或刺激的一种关键免疫反应，在消除病原体和促进组织修复方面起着至关重要的作用，当身体受到感染或受伤时，炎症反应可以帮助清除有害微生物和修复受损组织[8-9]。传统的抗炎药物（如非甾体抗炎药和糖皮质激素）可以缓解症状，但是长期使用这些药物可能导致胃肠道出血和器官损伤[10]，因此从天然植物中分离纯化的功效物质成为研究热点，尤其是药食两用的植物备受青睐。巨噬细胞在炎症反应中发挥关键调控作用，活化的巨噬细胞可大量产生一氧化氮（nitric oxide，NO）、白细胞介素-6（interleukin-6，IL-6）、肿瘤坏死因子-α（tumor necrosis factor-α，TNF-α）等炎症介质。已有研究证明天然存在的多酚在调节巨噬细胞功能中具有显著作用[11-12]。龙眼果皮和种子中酚类物质的种类和含量比果肉丰富得多[13-14]，Kunworarath 等[15]研究发现龙眼种子提取物可抑制脂多糖（lipopolysaccharide，LPS）诱导巨噬细胞过度分泌 NO，发挥抗炎活性。然而，目前对龙眼核发挥抗炎作用的具体活性物质仍不明确，相关多酚成分的系统研究尚较为缺乏。

本文以不同有机相萃取的龙眼核多酚为研究对象，对不同萃取相的总酚、总黄酮、总原花青素含量和总单宁含量进行测定。使用 LPS 诱导 RAW264.7 细胞建立细胞炎症模型，比较不同萃取相龙眼核多酚的抗炎作用。最后对含量与活性突出分离相的龙眼核多酚进行成分解析。以期为揭示龙眼核抗炎物质基础及开发利用龙眼核多酚提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料与试剂

石硖龙眼：采自国家荔枝龙眼产业技术体系茂名试验站示范基地——广东省茂名市茂南区羊角镇禄段村委会五化果园，采收时间 2024 年 8 月。龙眼去果肉取核，（45±5）℃热泵干燥后粉碎，过 60 目筛，保存备用。

小鼠巨噬细胞 RAW264.7：中国科学院细胞库；胎牛血清：瑟瑞娜生命科学技术发展（上海）有限公司；青-链霉素双抗、杜氏改良伊格尔培养基（Dulbecco's modified Eagle medium，DMEM）、磷酸盐缓冲液（phosphate-buffered saline，PBS）：美国赛默飞世尔科技有限公司；地塞米松（dexamethasone，DXMS）：上海阿拉丁生化科技股份有限公司；LPS、2′，7′-二氯荧光素二乙酸酯（2′，7′-dichlorodihydrofluorescein diacetate，DCFH-DA）活性氧荧光探针：北京索莱宝科技有限公司；细胞活力检测（cell counting kit-8，CCK-8）试剂盒、一氧化氮检测试剂盒：碧云天生物技术有限公司；小鼠 TNF-α、IL-6 酶联免疫吸附试验（enzyme-linked immunosorbent assay，ELISA）试剂盒：欣博盛生物科技有限公司；小鼠前列腺素 E_2（prostaglandin E_2，PGE_2）检测试剂盒：武汉伊莱瑞特生物科技股份有限公司。

1.1.2 仪器与设备

RE2000B 旋转蒸发仪：上海亚荣生化仪器厂；Christ/Alpha 2-4 LDplus 冻干机：德国 Martin Christ 公司；Synergy H1 酶标仪：美国 BioTex 公司；IX73 倒置荧光显微镜：日本 Olympus 公司；Vanquish 超高效液相色谱仪、Stellar 高灵敏度质谱仪、Forma310 二氧化碳恒温培养箱：美国 Thermo Fisher Scientific 公司。

1.2 方法

1.2.1 龙眼核不同溶剂萃取物的制备

使用 60% 的乙醇制备龙眼核多酚粗提物，旋转蒸发浓缩后依次用石油醚（脱脂）、二氯甲烷、乙酸乙酯、正丁醇按 1∶3（体积比）萃取 3 次，合并萃取液，旋转蒸发浓缩后冻干，得到二氯甲烷相、乙酸乙酯相、正丁醇相和萃取后水相，-20 ℃冻存，备用。

1.2.2 总酚含量测定

龙眼核不同萃取相中总酚含量采用 Folin-Ciocalteu 法[16]进行测定。分别取 1 mL 不同萃取相待测溶液于试管中，加入 1.5 mL 福林酚试剂，摇匀，避光反应 3~8 min，加入 1 mL 10% Na_2CO_3 溶液，摇匀，避光反应 1 h 后测定 765 nm 处的吸光度。以没食子酸为标准品，没食子酸标准曲线为 $y=0.006\,6x+0.041\,6$（$R^2=0.999\,5$），总酚含量以没食子酸当量（gallic acid equivalent，GAE）表示。

1.2.3 总黄酮含量测定

总黄酮含量采用硝酸铝-亚硝酸钠比色法[17]进行测定。分别取 0.5 mL 不同萃取相待测溶液于试管中，加入 0.2 mL 5% $NaNO_2$ 溶液，摇匀，反应 6 min，加入 0.2 mL 10% $Al(NO_3)_3$ 溶液，摇匀，反应 6 min，加入 0.5 mL 4% NaOH 溶液和 5 mL 蒸馏水，摇匀，反应 15 min 后测定 510 nm 处的吸光度。以芦丁为标准品，芦丁标准曲线为 y=0.000 7x+0.040 9（R^2=0.999 7），总黄酮含量以芦丁当量（rutin equivalent，RE）表示。

1.2.4 总原花青素含量测定

总原花青素含量采用香草醛-硫酸法[18]进行测定。分别取 1 mL 不同萃取相待测溶液于试管中，依次加入 2.5 mL 1% 香草醛甲醇溶液和 2.5 mL 30% 硫酸甲醇溶液，30 ℃水浴，避光反应 30 min 后测定 500 nm 处的吸光度。以表儿茶素为标准品，表儿茶素标准曲线为 y=0.002 7x+0.053 2（R^2=0.999 2），总原花青素含量以表儿茶素当量（epicatechin equivalent，EPE）表示。

1.2.5 总单宁含量测定

总单宁含量采用福林-丹尼斯法[19]进行测定。分别取 1 mL 不同萃取相待测溶液于试管中，加入含有 15 mL 蒸馏水的 50 mL 试管中，加入 2 mL 福林-丹尼斯试剂，摇匀，反应 6 min，加入 5 mL 饱和 Na_2CO_3 溶液，蒸馏水定容至 50 mL，摇匀，避光反应 1 h 后测定 760 nm 处的吸光度。以单宁酸为标准品，单宁酸标准曲线为 y=0.021 5x+0.044 4（R^2=0.998 6），总单宁含量以单宁酸当量（tannic acid equivalent，TAE）表示。

1.2.6 RAW264.7 细胞指标测定

1.2.6.1 RAW264.7 细胞培养

使用含 1% 双抗和 10% 胎牛血清的 DMEM，将细胞置于 37 ℃、5% CO_2 的培养箱中进行培养，待细胞密度达到 80%~90% 时进行传代。

1.2.6.2 CCK-8 法细胞活力测定

取对数生长期的 RAW264.7 细胞，以 5×10^4/mL 的密度接种于 96 孔板，置于细胞培养箱中培养 10 h 后，空白对照组加入 DMEM，试验组加入不同浓度（5、10、15、20 μg/mL）不同萃取相的龙眼核多酚，置于细胞培养箱中培养 24 h。按照 CCK-8 试剂盒说明书操作，每孔加入 100 μL 10% 的 CCK-8 稀释液，于细胞培养箱中反应 30 min。酶标仪测定 450 nm 处的吸光度，细胞存活率计算公式如下。

$$R = A_2/A_1 \times 100$$

式中：R 为细胞存活率，%；A_1 为空白对照组吸光度；A_2 为试验组吸光度。

1.2.6.3 NO 释放量测定

取对数生长期的 RAW264.7 细胞，接种于 96 孔板，置于细胞培养箱中培养 10 h 后，空白对照组和模型组加入 DMEM，样品组加入不同萃取相的龙眼核多酚（5、10、15 μg/mL），阳性对照组加入 10 μg/mL 地塞米松，于细胞培养箱中孵育 2 h 后，除空白对照组外，其余各组加入终浓度为 1 μg/mL 的 LPS 刺激 24 h。取反应后的上清液，按照 NO 检测试剂盒说明书操作，加入 Griess 试剂，用酶标仪测定 540 nm 处的吸光度，根据标准曲线（y=0.006 1x+0.001 6，R^2=0.999 7）计算 NO 含量。

$$I = (C_1 - C_2)/C_1 \times 100$$

式中：I 为细胞 NO 释放量抑制率，%；C_1 为模型组 NO 释放量，μmol/mL；C_2 为试验组 NO 释放量，μmol/mL。

1.2.6.4 ROS 释放量测定

取对数生长期的 RAW264.7 细胞，接种于 6 孔板，按照 1.2.6.3 处理细胞后，弃去上清液，加入 10 μmol/L 的 DCFH-DA 工作液，细胞培养箱避光孵育 30 min，用 PBS 润洗细胞 3 次，使用倒置荧光显微镜拍照记录细胞荧光强度并用图像处理软件 ImageJ 进行荧光强度分析。

1.2.6.5 ELISA 法细胞炎症因子浓度测定

按照 1.2.3 处理细胞后，收集上清液，按照 ELISA 试剂盒说明书分别对 TNF-α、IL-6 和 PGE_2 浓度进行检测。

1.2.7 多酚组成测定

将乙酸乙酯相龙眼核多酚冻干后研磨，完全溶解于 80% 甲醇溶液，4 ℃、12 000 r/min 离心 15 min，上清液过 0.22 μm 滤膜，收集至进样瓶，备用。

使用超高效液相色谱仪，通过 UPLC Kinetex C18 色谱柱（2.1 mm×50 mm，2.6 μm）对目标化合物进行色谱分离。色谱条件：流动相 A 为 0.01% 乙酸水溶液；流动相 B 为 50% 乙腈/异丙醇；柱温箱温度为 25 ℃，自动进样器温度为 4 ℃；进样体积为 1 μL；流速 0.3 mL/min。

质谱参数：使用装备加热电喷雾离子化（heated electrospray ionization，H-ESI）的四极杆线性离子阱质谱仪，以平行反应监测（parallel reaction monitoring，PRM）模式进行质谱分析。离子源参数：采用电喷雾离子源（electrospray ionization，ESI），正离子模式喷雾电压为 3.8 kV，负离子模式为 3.4 kV；鞘气流速为 50 arb；辅助气流速为 15 arb；吹扫气流速为 1 arb；离子传输管温度为 320 ℃；气化室温度为 400 ℃。

1.3 数据处理

使用 Origin 2021 软件作图，采用 SPSS 19.0 进行单因素方差分析。结果以平均值±标准差的形式表示，当 p<0.05 时，具有统计学显著性。

2 结果与分析

2.1 龙眼核不同萃取相总酚、总黄酮、总原花青素、总单宁含量

龙眼核使用乙醇粗提后，依次用不同有机试剂进行萃取，得到二氯甲烷相、乙酸乙酯相、正丁醇相和萃

取后水相。以 100 g 龙眼核粉干重(dry weight,DW)计,各萃取相冷冻干燥后的得率分别为 1.27%、1.63%、3.55% 和 12.10%。对各萃取相总酚、总黄酮、总原花青素、总单宁含量进行测定,结果如表 1 所示。

表 1　龙眼核不同萃取相总酚、总黄酮、总原花青素、总单宁含量

Table 1　Content of total phenolic, total flavonoids, total proanthocyanidins, and total tannins in different extraction phases

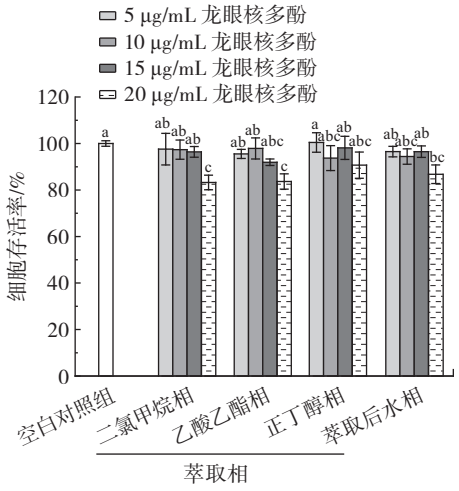
萃取相	总酚含量/(mg GAE/g DW)	总黄酮含量/(mg RE/g DW)	总原花青素含量/(mg EPE/g DW)	总单宁含量/(mg TAE/g DW)
二氯甲烷相	42.63±7.63^{d}	18.41±0.17^{d}	11.41±0.37^{c}	0.66±0.01^{d}
乙酸乙酯相	635.56±15.55^{a}	109.96±2.31^{a}	24.06±1.39^{a}	8.22±0.05^{a}
正丁醇相	262.83±1.75^{b}	65.39±1.75^{b}	17.79+0.33^{b}	6.50±0.07^{b}
萃取后水相	183.03±5.25^{c}	34.72±1.75^{c}	6.23±0.37^{d}	3.50±0.03^{c}

注:同列不同字母表示差异显著(p<0.05)。

由表 1 可知,不同萃取相总酚含量之间存在显著性差异(p<0.05),其中乙酸乙酯相总酚含量最高,为 635.56 mg GAE/g DW,不同萃取相总酚含量由高到低依次为乙酸乙酯相>正丁醇相>萃取后水相>二氯甲烷相;不同萃取相总原花青素含量由高到低依次为乙酸乙酯相>正丁醇相>二氯甲烷相>萃取后水相。不同萃取相中总黄酮和总单宁含量大小顺序与总酚含量一致。

2.2　龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞活力的影响

为检测龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞的潜在毒性,确定后续试验的安全浓度范围,采用 CCK-8 法检测不同浓度、不同萃取相龙眼核多酚处理 RAW264.7 细胞 24 h 后的细胞活力,结果见图 1。



不同字母表示不同处理组之间具有显著性差异(p<0.05)。

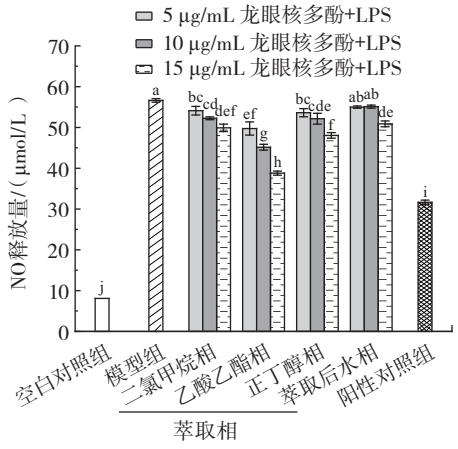
图 1　不同萃取相龙眼核多酚对 RAW264.7 细胞活力的影响

Fig.1　Effects of polyphenols from different extracts of longan seeds on the viability of RAW264.7 cells

如图 1 所示,与空白对照组相比,不同萃取相的龙眼核多酚在 5、10、15 μg/mL 时,细胞活力与空白对照组相比均没有统计学差异(p>0.05),当浓度升高至 20 μg/mL 时,除正丁醇相,其他萃取相细胞活力显著下降(p<0.05)。因此,后续细胞试验选用 5、10、15 μg/mL 3 个无细胞毒性的浓度进行。

2.3　龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞 NO 释放量的影响

NO 是一种重要的炎症介质及信号分子,通常被认为是免疫细胞活化的标志,高浓度的 NO 会引发多种炎症疾病。LPS 刺激 RAW264.7 巨噬细胞后,可通过激活核因子 κB(nuclear factor-kappa B,NF-κB)通路引发诱导型一氧化氮合酶(inducible nitric oxide synthase,iNOS)的表达,生成大量 NO,参与炎症反应[15]。以脂多糖诱导 RAW264.7 细胞建立细胞炎症模型,龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞 NO 释放量的影响,如图 2 所示。



不同字母表示不同处理组之间具有显著性差异(p<0.05)。

图 2　龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞 NO 释放量的影响

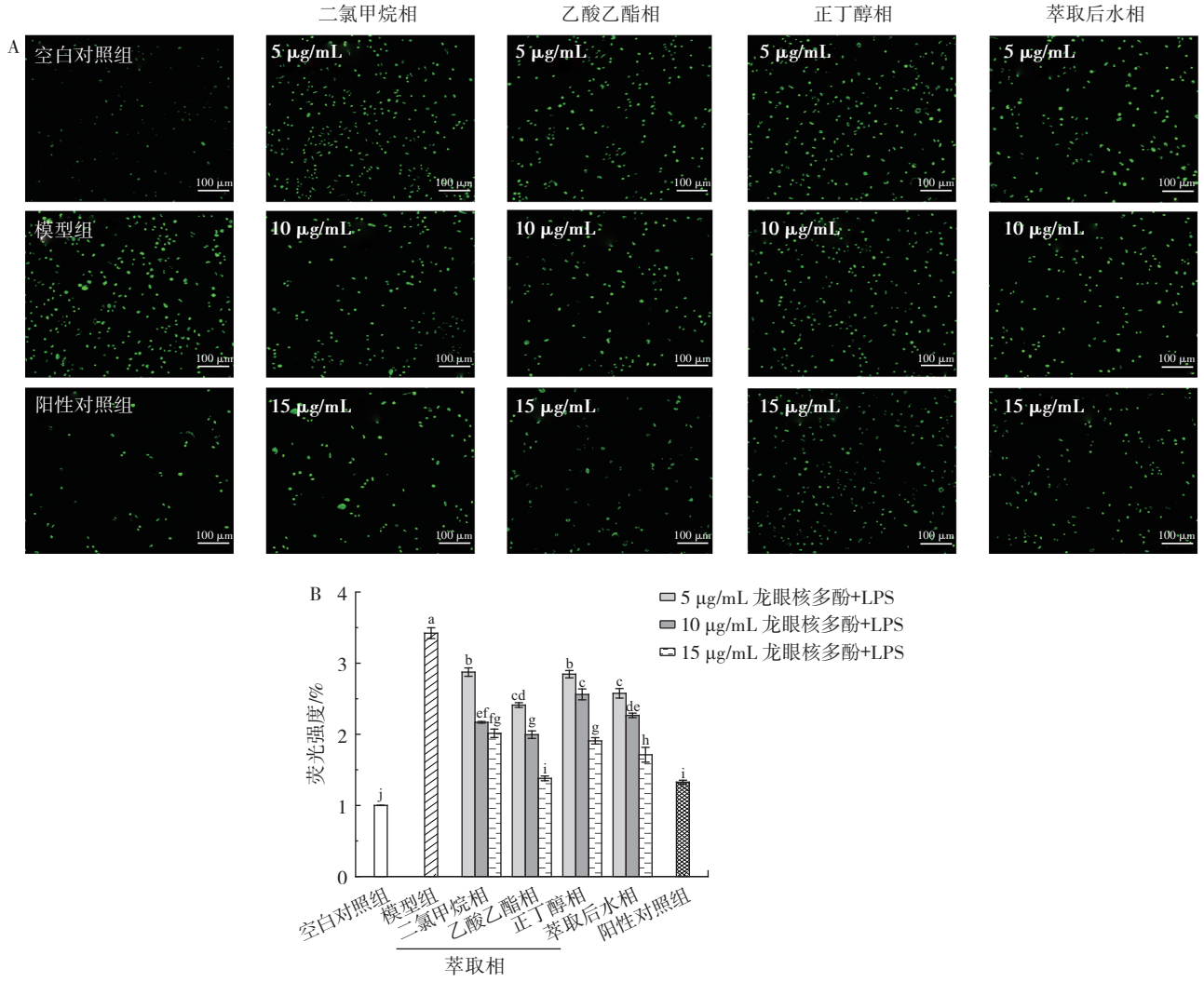
Fig.2　Effects of polyphenols from different extracts of longan seeds on NO release in RAW264.7 cells

由图 2 可知,与空白对照组相比,LPS(1 μg/mL)刺激可显著地诱导 RAW264.7 细胞产生大量 NO(p<0.05),表明细胞炎症模型构建成功。阳性对照组能有效抑制 LPS 诱导的 NO 过量释放,验证了该炎症模型的可靠性。不同萃取相龙眼核多酚对 NO 释放均有一定的抑制作用且呈现浓度依赖性,其中乙酸乙酯相龙眼核多酚的浓度依赖性最为显著,在 15 μg/mL 时对 NO 释放的抑制率为 31.46%。二氯甲烷相和正丁醇相龙眼核多酚对 NO 释放量也有一定的抑制作用,15 μg/mL 时

对 NO 的抑制率分别为 11.87%、15.15%；萃取后水相对 NO 释放的抑制作用，仅在 15 μg/mL 时表现出较弱的抑制效果。

2.4　龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞 ROS 释放量的影响

LPS 作用于 RAW264.7 细胞后，细胞会大量产生 ROS，并激活 NF-κB 信号通路，促进炎症相关基因的转录与表达[10]。本试验使用 DCFH-DA 荧光探针法检测细胞内 ROS 水平，通过荧光强度间接反映不同萃取相龙眼核多酚对 RAW264.7 细胞 ROS 释放量的影响。以空白对照组荧光强度为基准计算不同处理组的 ROS 荧光强度，如图 3 所示。



A. 荧光图像；B. 荧光强度。不同小写字母表示不同处理组间具有显著性差异（$p<0.05$）。

图 3　龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞 ROS 释放量的影响

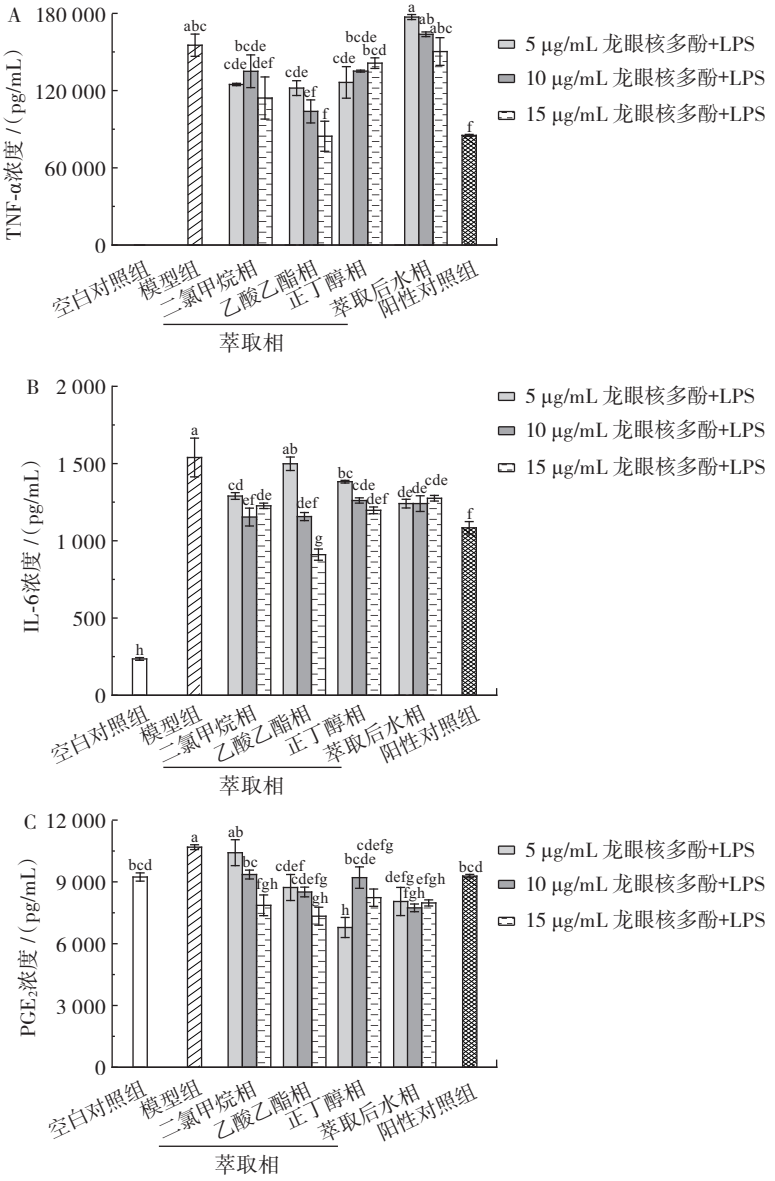
Fig.3　Effects of polyphenols from different extracts of longan seeds on ROS levels in RAW264.7 cells

由图 3 可知，不同萃取相龙眼核多酚对细胞内 ROS 的生成均存在明显抑制作用，并且具有明显的浓度依赖性。不同萃取相龙眼核多酚在相同浓度条件下，乙酸乙酯相的抑制作用均为最强，且浓度为 15 μg/mL 时抑制效果最好，抑制率为 59.67%，接近阳性对照组。

2.5　龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞炎症因子浓度的影响

龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞炎症因子浓度的影响见图 4。

LPS 作用于 RAW264.7 细胞后，小鼠巨噬细胞被激活并分泌炎症细胞因子（TNF-α、IL-6、PGE_2）[20-21]。如图 4 所示，乙酸乙酯相对 TNF-α 和 IL-6 抑制作用最好且具有浓度依赖性，15 μg/mL 时，对 TNF-α 和 IL-6 抑制率分别为 45.55%、40.87%。不同浓度萃取后水相对 IL-6 和 PGE_2 的抑制作用没有显著性差异，对 TNF-α 均没有抑制作用。15 μg/mL 乙酸乙酯相和 5 μg/mL 正丁醇相对 PGE_2 的抑制效果较好，抑制率分别为 31.37%、36.48%，且两者间无显著性差异。整体来说乙酸乙酯相龙眼核多酚对 RAW264.7 细胞炎症因子的抑制效果最好。



A. TNF-α 浓度；B. IL-6 浓度；C. PGE_2 浓度。不同小写字母表示不同处理组之间具有显著性差异（$p<0.05$）。

图 4　龙眼核不同萃取相多酚对 RAW264.7 细胞炎症因子的影响

Fig.4　Effects of polyphenols from different extracts of longan seeds on inflammatory cytokines in RAW264.7 cells

2.6　乙酸乙酯相主要多酚成分

采用超高效液相色谱串联质谱对龙眼核乙酸乙酯相多酚进行检测，龙眼核乙酸乙酯相中多酚主要检出 33 种酚类物质，分别为酚酸类 8 种，黄酮类 13 种，香豆素类 7 种，木脂素类 3 种，芪类 2 种。表 2 列出了 20 种主要的酚类化合物。

表 2　乙酸乙酯相主要多酚成分

Table 2　Principal polyphenols in the ethyl acetate extract

编号		化合物	分子式	保留时间/s	精确分子量/u	母离子质荷比	碎片离子	峰面积
酚酸	1	对-香豆酰奎宁酸	$C_{16}H_{18}O_8$	183.8	338.10	319.08	173.04，145.03，146.04	51 055 677 274.70
	2	3，4-二羟基苯甲酸	$C_7H_6O_4$	92.7	154.03	153.02	109.07，153.06	665 866 926.29
	3	原儿茶醛	$C_7H_6O_3$	141.5	138.03	137.02	137.02，136.00，108.20	339 092 185.02
	4	3，5-二-O-没食子酰莽草酸	$C_{21}H_{18}O_{13}$	181.6	478.07	477.07	169.01，125.02，167.09	292 765 766.49
	5	柯里拉京	$C_{27}H_{22}O_{18}$	158.4	634.08	652.11	277.20，303.05，465.10	108 023 954.67
	6	鞣花酸	$C_{14}H_6O_8$	184.5	302.01	301.00	185.10，284.08	33 787 711.82

续表 2　乙酸乙酯相主要多酚成分

Continue table 2　Principal polyphenols in the ethyl acetate extract

编号		化合物	分子式	保留时间/s	精确分子量/u	母离子质荷比	碎片离子	峰面积
黄酮类	7	儿茶素	$C_{15}H_{14}O_6$	163.5	290.08	291.09	139.04,123.04,147.07	77 574 745 993.71
	8	飞燕草素	$C_{15}H_{11}O_7$	192.8	303.05	303.05	69.03,155.09,159.08	1 674 917 843.26
	9	肉桂鞣质 B1	$C_{45}H_{36}O_{18}$	158.8	864.19	865.20	289.16	355 040 310.12
	10	6-羟基木犀草素-7-葡萄糖苷	$C_{21}H_{20}O_{12}$	159.9	464.10	465.10	303.02,465.49,285.01	93 074 400.95
	11	芹甙元-7-葡萄糖苷	$C_{21}H_{20}O_{10}$	189.0	432.11	433.11	271.81	87 573 733.39
	12	3″-没食子酰槲皮苷	$C_{28}H_{24}O_{15}$	201.0	600.11	599.10	301.13,169.01,179.06	74 633 509.64
	13	(+)-表没食子儿茶素	$C_{15}H_{14}O_7$	154.7	306.07	289.07	135.04,122.99,139.18	26 443 800.89
	14	花色素	$C_{15}H_{11}O_6$	207.6	287.06	310.05	295.18,311.10,297.04	15 803 315.30
	15	甘草素	$C_{15}H_{12}O_4$	202.1	256.10	257.08	131.10,102.00,148.07	7 749 462.43
	16	松属素查尔酮	$C_{15}H_{12}O_4$	222.4	256.07	255.07	211.09,183.09,213.03	3 133 974.60
	17	6-甲基二氢槲皮素	$C_{16}H_{14}O_7$	193.3	318.07	317.07	300.08	1 301 433.72
香豆素类	18	瑞香素-7-甲醚	$C_{10}H_8O_4$	162.2	192.04	193.05	139.04,93.02,103.05	10 603 925 512.43
	19	短叶苏木酚酸	$C_{13}H_8O_8$	157.1	292.02	293.03	219.00,293.12,247.10	80 072 579.36
	20	绣球酚	$C_{15}H_{12}O_4$	217.3	256.10	255.10	211.09,212.08	3 170 906.91

由表 2 可知,儿茶素相对含量最高,对-香豆酰奎宁酸、飞燕草素、肉桂鞣质 B1 等相对含量也较高。已有研究表明儿茶素、柯里拉京、原儿茶醛均具有抗炎活性[22-25],这些酚类化合物在乙酸乙酯相中含量较高,这也可能是乙酸乙酯相抗炎效果较好的原因。

3　讨论与结论

炎症是机体受到损伤因子侵袭自身组织时产生的防御性反应,而这种过度的应激反应可损伤机体组织器官,进而导致多种慢性疾病。目前国内外药理研究已证实多酚、黄酮类成分具有抗炎、抗氧化、镇痛、抗癌等作用[26]。龙眼核中含有多种生物活性物质如酚类、糖类及脂类,其中以多酚类物质的含量最为丰富。范风颖等[27]制备了龙眼核 95% 乙醇提取物,再通过氯仿和乙酸乙酯萃取后合并萃取相得到龙眼核多酚,研究发现龙眼核多酚通过抑制小鼠氧化应激反应,降低肺组织炎症反应。蒋佳丽[28]明确没食子酸、鞣花酸等化学成分是龙眼核标准汤剂抗氧化与抗炎活性的物质基础。本研究中与其他萃取相相比,乙酸乙酯相中总酚、总黄酮、总原花青素、总单宁含量均最高,总酚、总黄酮、总单宁含量由高到低均为乙酸乙酯相>正丁醇相>萃取后水相>二氯甲烷相,总原花青素总单宁含量由高到低为乙酸乙酯相>正丁醇相>二氯甲烷相>萃取后水相。不同萃取相龙眼核多酚对 LPS 诱导 RAW264.7 细胞 NO 和 ROS 的产生均有一定的抑制作用,乙酸乙酯相作用效果最显著。乙酸乙酯相对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞炎症因子 TNF-α、IL-6 和 PGE_2 的产生均有显著性抑制效果。进一步成分分析表明乙酸乙酯相中的多酚主要是黄酮类和酚酸,其中儿茶素、柯里拉京、鞣花酸等酚类物质含量较高。乙酸乙酯相中的主要酚类成分与龙眼核标准汤剂中报道的活性成分存在一定差异,这一差异可能是由于提取溶剂不同,龙眼核标准汤剂以水作为溶剂更易浸出没食子酸等小分子酚酸,而乙酸乙酯中等极性溶剂对黄酮类及大分子酚酸具有更好的选择性,从而导致活性成分存在差异。龙眼核多酚的活性成分组成受提取工艺影响,不同极性溶剂萃取可获得具有不同化学特征的活性组分,本研究实现了多维度筛选龙眼核多酚抗炎活性组分。后续可继续对乙酸乙酯相龙眼核多酚进行分离纯化,进一步明确发挥抗炎作用的关键酚类物质,为龙眼核功能性多酚的开发应用提供理论依据。

参考文献:

[1] 马晨雨, 陈惠昀 . 金秋龙眼万里香 科技赋能庆丰年——2025 年中国农民丰收节龙眼丰收季促消费活动在泸州市泸县举办[J]. 中国热带农业, 2025(5): 5-7.
MA Chenyu, CHEN Huiyun. The consumption promotion activity during the longan harvest season of the 2025 Chinese farmers′ harvest festival was held in Luzhou, Sichuan[J]. China Tropical Agriculture, 2025(5): 5-7.

[2] 梅徐, 俞晓敏, 庞亚飞, 等 . 龙眼核药用价值概述[J]. 中国民间疗法, 2019, 27(13): 104-105.
MEI Xu, YU Xiaomin, PANG Yafei, et al. Overview of medicinal value of longan seed[J]. China′s Naturopathy, 2019, 27(13): 104-105.

[3] 周凯 . 龙眼核多酚的分离纯化及其对小鼠烫伤愈合的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
ZHOU Kai. Studies on the purification process and its effects of deep partial burn wound healing in mice of polyphenols in longan seeds[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.

[4] 唐福才, 姚敦琛, 关天旺, 等 . 龙眼核中多酚提取及抗氧化活性的研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(12): 5-9.

TANG Fucai, YAO Dunchen, GUAN Tianwang, et al. Study of the extraction and antioxidant capacity of ployphenol from longan seeds [J]. Food Research and Development, 2015, 36(12): 5-9.

[5] 覃豪丽, 张智, 郑晓霞, 等 . 两种无患子科植物的化学成分及药理活性研究进展[J]. 中药材, 2024, 47(8): 2102-2113.
QIN Haoli, ZHANG Zhi, ZHENG Xiaoxia, et al. Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of two species of Sapindaceae[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2024, 47(8): 2102-2113.

[6] TAN S, KE Z L, ZHOU C B, et al. Polyphenol profile, antioxidant activity, and hypolipidemic effect of longan byproducts[J]. Molecules, 2023, 28(5): 2083.

[7] LI L Y, XU J L, MU Y, et al. Chemical characterization and anti-hyperglycaemic effects of polyphenol enriched longan (*Dimocarpus longan* Lour.) pericarp extracts[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 13: 314-322.

[8] BRUSINI R, VARNA M, COUVREUR P. Advanced nanomedicines for the treatment of inflammatory diseases[J]. Advanced Drug Delivery Reviews, 2020, 157: 161-178.

[9] 赵梦洁, 祝侠丽, 李一菁, 等 . 基于金属-多酚网络的纳米递药系统在炎症性疾病诊疗方面的研究进展[J]. 药学学报, 2025, 60(2): 323-336.
ZHAO Mengjie, ZHU Xiali, LI Yijing, et al. Research progress of nano drug delivery system based on metal-polyphenol network for the diagnosis and treatment of inflammatory diseases[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 2025, 60(2): 323-336.

[10] ZONGO A W, GAO K L, ZAONGO S D, et al. Polyphenol-rich extract from *Torreya grandis* peel attenuates lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW264.7 macrophages *via* inhibition of the TLR4/NF-κB pathway[J]. Food & Function, 2025, 16(20): 8077-8094.

[11] GAO X, LIN X R, HO C T, et al. Chemical composition and anti-inflammatory activity of water extract from black cocoa tea (*Camellia ptilophylla*)[J]. Food Research International, 2022, 161: 111831.

[12] ALBA G, DAKHAOUI H, SANTA-MARIA C, et al. Nutraceuticals as potential therapeutic modulators in immunometabolism[J]. Nutrients, 2023, 15(2): 411.

[13] RAKARIYATHAM K, ZHOU D Y, RAKARIYATHAM N, et al. Sapindaceae (*Dimocarpus longan* and *Nephelium lappaceum*) seed and peel by-products: Potential sources for phenolic compounds and use as functional ingredients in food and health applications[J]. Journal of Functional Foods, 2020, 67: 103846.

[14] 陆丽珠, 陈韵, 张瑾, 等 . 红枣桂圆复合果醋的酒精发酵工艺研究[J]. 农产品加工, 2020(6): 23-28.
LU Lizhu, CHEN Yun, ZHANG Jin, et al. Study on alcohol fermentation technology of jujube and longan compound fruit vinegar[J]. Farm Products Processing, 2020(6): 23-28.

[15] KUNWORARATH N, RANGKADILOK N, SURIYO T, et al. Longan (*Dimocarpus longan* Lour.) inhibits lipopolysaccharide-stimulated nitric oxide production in macrophages by suppressing NF-κB and AP-1 signaling pathways[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 179: 156-161.

[16] 陈誉, 罗磊, 王硕, 等 . 咖啡果壳多酚的提取及抗氧化和抗炎特性[J]. 食品与生物技术学报, 2022, 41(8): 104-111.
CHEN Yu, LUO Lei, WANG Shuo, et al. Antioxidant and anti-inflammatory properties of polyphenols extracted from coffee cherry husks[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2022, 41(8): 104-111.

[17] 白雪莲, 沈淑雅, 陈怀玉, 等 . 微波辅助提取芒果皮黄酮工艺研究[J]. 农产品加工(下), 2015(3): 29-32.
BAI Xuelian, SHEN Shuya, CHEN Huaiyu, et al. Microwave-assisted extraction technology of flavonoid from mango peel[J]. Farm Products Processing, 2015(3): 29-32.

[18] 孙芸, 谷文英 . 硫酸-香草醛法测定葡萄籽原花青素含量[J]. 食品与发酵工业, 2003, 29(9): 43-46.
SUN Yun, GU Wenying. Determination of procyanidin content in grape seed using H_2SO_4-vanillin assay[J]. Food and Fermentation Industries, 2003, 29(9): 43-46.

[19] 刘生财, 段俊朋, 姚德恒, 等 . 响应面试验优化超声波辅助提取龙眼愈伤组织中单宁的工艺[J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46(1): 58-64.
LIU Shengcai, DUAN Junpeng, YAO Deheng, et al. Optimization of the tannins extraction process from callus in *Dimocarpus longan* Lour by ultrasound-assisted extraction using response surface methodology[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2019, 46(1): 58-64.

[20] KAUR B, SINGH P. Inflammation: Biochemistry, cellular targets, anti-inflammatory agents and challenges with special emphasis on cyclooxygenase-2[J]. Bioorganic Chemistry, 2022, 121: 105663.

[21] LIAO W, HE X J, YI Z W, et al. Chelidonine suppresses LPS-Induced production of inflammatory mediators through the inhibitory of the TLR4/NF-κB signaling pathway in RAW264.7 macrophages [J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2018, 107: 1151-1159.

[22] TRUONG V L, JEONG W S. Antioxidant and anti-inflammatory roles of tea polyphenols in inflammatory bowel diseases[J]. Food Science and Human Wellness, 2022, 11(3): 502-511.

[23] LI X, DENG Y, ZHENG Z Z, et al. Corilagin, a promising medicinal herbal agent[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2018, 99: 43-50.

[24] 陈淑珍, 许秋凤, 王皇斌, 等 . 儿茶素减轻小鼠肺泡巨噬细胞炎症反应的作用及机制研究[J]. 生物学杂志, 2024, 41(6): 26-30.
CHEN Shuzhen, XU Qiufeng, WANG Huangbin, et al. Study on the anti-inflammatory effect and mechanism of catechin on mouse alveolar macrophages[J]. Journal of Biology, 2024, 41(6): 26-30.

[25] CHANG Z Q, GEBRU E, LEE S P, et al. *In vitro* antioxidant and anti-inflammatory activities of protocatechualdehyde isolated from *Phellinus gilvus*[J]. Journal of Nutritional Science and Vitaminology, 2011, 57(1): 118-122.

[26] SUN Y W, BAO Y, YU H, et al. Anti-rheumatoid arthritis effects of flavonoids from *Daphne genkwa*[J]. International Immunopharmacology, 2020, 83: 106384.

[27] 范风颖, 骆姗, 赵莉 . 龙眼核多酚对 LPS 诱导的 ALI 小鼠肺组织的保护作用及机制[J]. 西南国防医药, 2021, 31(6): 497-500.
FAN Fengying, LUO Shan, ZHAO Li. Protective effect of longan seed polyphenols on lung tissue in mice with LPS-induced ALI and its mechanism[J]. Medical Journal of National Defending Forces in Southwest China, 2021, 31(6): 497-500.

[28] 蒋佳丽 . 龙眼核标准汤剂的制备及基于抗氧化、抗炎的谱效关系研究[D]. 南宁: 广西中医药大学, 2025.
JIANG Jiali. Preparation of Longan seed standard decoction and study on the spectrum effect relationship based on antioxidation and anti-inflammatory[D]. Nanning: Guangxi University of Chinese Medicine, 2025.

加工编辑:王雪
收稿日期:2026-03-05