

[成分分析]

刺猬紫檀心材乙酸乙酯部位化学成分及其抗炎活性研究

戴兴^{1,2}, 雷忠旗^{1,2}, 王艳梅^{1,2}, 陈兰英³, 刘荣华^{1,2*}

[1. 江西中医药大学药学院, 江西 南昌 330004; 2. 江西中医药大学中药药效物质基础江西省重点实验室 (2024SSY07102), 江西 南昌 330004; 3. 江西中医药大学中药固体制剂制造技术国家工程研究中心, 江西 南昌 330006]

摘要: 目的 探讨刺猬紫檀心材中乙酸乙酯部位的化学成分, 并评估其抗炎活性。方法 采用硅胶柱、Sephadex LH-20、MCI以及半制备高效液相色谱对提取物进行分离纯化, 根据波谱数据鉴定化合物结构。通过构建体外 RAW264.7 细胞炎症模型, 对所得异黄酮类成分的抗炎活性进行筛选。结果 从中分离得到 20 个化合物, 分别鉴定为 mucronuol (1)、二氢芒柄花黄素 (2)、2', 4'-dihydroxy-4-methoxy-β-hydroxychalconol (3)、7-羟基-4'-甲氧基二氢黄酮 (4)、4, 2', 4'-三羟基二氢查尔酮 (5)、6, 7 二甲氧基-4'-羟基二氢黄酮 (6)、8-methoxy-7, 3', 4'-trihydroxyflavone (7)、异甘草素 (8)、7-羟基色原酮 (9)、7-甲氧基-4'-羟基异黄酮 (10)、甲基条叶蓟素 (11)、对羟基邻甲氧基苯甲酸甲酯 (12)、4, 4'-二甲氧基联苯 (13)、对甲氧基邻羟基苯甲酸 (14)、对甲氧基苯甲酸 (15)、邻苯二酚 (16)、甘草素 (17)、鸢尾黄素 (18)、芒柄花黄素 (19)、染料木素 (20)。化合物 10~11、18~20 的 IC₅₀ 值为 (21.39±4.19) ~ (63.60±6.25) μmol/L。结论 化合物 1~2、8~9、15~18 及 20 为首次从该植物中分离得到, 3~7、11~14 为首次从紫檀属植物中分离得到。化合物 10~11、18~20 具有抗炎活性。

关键词: 刺猬紫檀; 心材; 乙酸乙酯部位; 化学成分; 分离鉴定; 异黄酮; 抗炎活性

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2026)03-0837-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1528.2026.03.018

Chemical constituents from the ethyl acetate fraction of *Pterocarpus erinaceus* heartwood and their anti-inflammatory activity

DAI Xing^{1,2}, LEI Zhong-qi^{1,2}, WANG Yan-mei^{1,2}, CHEN Lan-ying³, LIU Rong-hua^{1,2*}

[1. School of Pharmacy, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China; 2. Jiangxi Provincial Key Laboratory of Effective Material Basis of TCM (2024SSY07102), Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330004, China; 3. National Pharmaceutical Engineering Center for Solid Preparation in Chinese Herbal Medicine, Jiangxi University of Chinese Medicine, Nanchang 330006, China]

ABSTRACT: **AIM** To investigate the chemical constituents of the ethyl acetate fraction from the heartwood of *Pterocarpus erinaceus* Poir, and to evaluate their anti-inflammatory activity. **METHODS** The extracts were isolated and purified by silica gel column, Sephadex LH-20, MCI and semi-preparative high-performance liquid chromatography. The structures of the obtained compounds were identified according to spectroscopic data. An *in vitro* inflammatory model was established using RAW264.7 cells to screen the anti-inflammatory activity of the isolated isoflavonoids. **RESULTS** A total of twenty compounds were isolated and identified as mucronuol (1), dihydromonopterin (2), 2', 4'-dihydroxy-4-methoxy-β-hydroxychalconol (3), 7-hydroxy-4'-methoxydihydroflavone (4), 4, 2', 4'-trihydroxy dihydrochalcone (5), 6, 7-dimethoxy-4'-hydroxydihydroflavone (6), 8-methoxy-7, 3', 4'-trihydroxyflavone (7), isoliquiritigenin (8), 7-hydroxychromone (9), 7-methoxy-4'-hydroxyisoflavone (10), cirsilineol (11), methyl p-hydroxy-o-methoxybenzoate (12), 4, 4'-dimethoxybiphenyl

收稿日期: 2025-07-24

基金项目: 国家自然科学基金 (82160732); 江西省自然科学基金重点项目 (20224ACB206043); 江西省科技攻关计划 (20243BCC31009)

作者简介: 戴兴 (1996—), 男, 博士生, 从事药效物质基础研究。E-mail: dx2023a@163.com

* 通信作者: 刘荣华 (1964—), 男, 教授, 博士生导师, 从事中药药效物质基础研究。E-mail: rhlh@163.com

(13), *p*-methoxy-*o*-hydroxybenzoic acid (14), *p*-methoxybenzoic acid (15), catechol (16), liquiritigenin (17), irilidin (18), monopterin (19), genistein (20). The IC_{50} values of compounds 10–11 and 18–20 were (21.39±4.19)–(63.60±6.25) $\mu\text{mol/L}$. **CONCLUSION** Compounds 1–2, 8–9, 15–18 and 20 are isolated from *P. erinaceus* for the first time, while compounds 3–7, 11–14 are first isolated from the *Pterocarpus* genus. Compounds 10–11 and 18–20 have anti-inflammatory activity.

KEY WORDS: *Pterocarpus erinaceus* Poir; heartwood; ethyl acetate fraction; chemical constituents; isoflavones; anti-inflammatory activity

刺猬紫檀 *Pterocarpus erinaceus* Poir 为豆科紫檀属植物, 主要分布于塞内加尔、几内亚比绍等非洲热带地区^[1]。现有文献记载, 民间常利用该植物的根及叶治疗身体浮肿、鼻衄、头痛、高血压及皮肤病, 亦可用于解毒; 此外, 将其茎叶煎煮成汤剂还能有效缓解牙痛和头痛^[2]。目前, 国内外关于刺猬紫檀的研究多集中于提取物的生物活性, 而对其化学成分具体分布情况的了解尚浅。鉴于此, 本研究对刺猬紫檀心材的乙酸乙酯部位进行化学成分分离, 并采用 RAW264.7 炎症模型评估分离到的系列异黄酮类成分的抗炎活性。最终分离并鉴定了 20 个化合物, 包括 4 个酚类、1 个联苯类、1 个色原酮类及 14 个黄酮类。其中, 5 个异黄酮化合物均表现出抗炎活性, 为进一步明确刺猬紫檀的化学成分基础及其药效物质提供了科学依据。

1 材料

LC3000 型半制备高效液相色谱仪 (HPLC) (北京创新通恒科技有限公司); Avance III HD 600 MHz 型核磁共振波谱仪 (德国 Bruker 公司)。Chromcore 5 μ C₁₈ 制备液相色谱柱 [纳谱分析技术 (苏州) 有限公司]; 薄层硅胶板、柱层析硅胶 (青岛海洋化工有限公司); Sephadex LH-20 (美国 GE Healthcare 公司)。乙腈 (色谱纯), 石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯、丙酮、甲醇 (分析纯) (上海泰坦科技股份有限公司)。

刺猬紫檀样品购自于江苏省无锡市, 经广西大学林学院产品质量检测中心鉴定为豆科紫檀属植物刺猬紫檀 *Pterocarpus erinaceus* Poir 的心材, 凭证标本 (编号 202101) 保存于江西中医药大学实验标本室。

2 提取与分离

刺猬紫檀心材 (50 kg) 经粉碎处理, 以 75% 乙醇为溶剂加热回流提取 2 次 (液料比 10 : 1, 提取时间 2 h), 提取液过滤后, 减压浓缩回收溶剂, 得总浸膏 6.9 kg。取浸膏 6 kg, 加甲醇溶解后上样至硅胶柱 (30~60 目), 依次采用石油醚、二氯甲

烷、乙酸乙酯及甲醇进行洗脱, 收集乙酸乙酯洗脱部位, 共得到 1 700 g 提取物。取乙酸乙酯部位 (1 600 g), 采用硅胶柱 (60~100 目) 分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (100 : 1~3 : 7) 进行梯度洗脱, 得到 4 个主要流分 (Fr A~Fr D)。

Fr B 组分 (68.53 g) 利用硅胶柱 (100~200 目) 分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得 22 个流分 (Fr B1~Fr B22)。Fr B12 (9.4 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 16 个流分 (Fr B12 A~Fr B12 P), Fr B12 N (1.3 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 17 个流分 (Fr B12 N1~Fr B12 N17), Fr B12 N3 (5.7 mg) 经半制备 HPLC (流动相甲醇-水 30 : 70) 分离, 得到化合物 1 ($t_R = 40$ min, 1.1 mg) 和 2 ($t_R = 44$ min, 1.2 mg)。Fr. B. 13 (2 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 17 个流分 (Fr B13 A~Fr B13 Q), Fr B13 M (341 mg) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (80 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 7 个流分 (Fr B13 M1~Fr B13 M7), Fr B13 M3 (17.2 mg) 经半制备 HPLC (流动相甲醇-水 55 : 45) 分离, 得到化合物 3 ($t_R = 4$ min, 1.8 mg)、4 ($t_R = 19$ min, 1.2 mg) 和 5 ($t_R = 24$ min, 1.2 mg)。

Fr C (261.88 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-乙酸乙酯 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 34 个流分 (Fr C1~Fr C34)。Fr C26 (11 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (50 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 15 个流分 (Fr C26 A~Fr C26 O), Fr C26 C (12.1 mg) 经半制备 HPLC (流动相甲醇-水 55 : 45) 分离, 得到化合物 6 ($t_R = 14$ min, 1.7 mg); Fr C26 D (872.2 mg) 经 Sephadex LH-20 (流动相二氯甲烷-甲醇 1 : 1) 分离, 得到 9 个亚流分 (Fr C26 D1-Fr

C26 D9), Fr C26 D9 (27.3 mg) 经半制备 HPLC (流动相甲醇-水 35 : 65) 分离, 得到化合物 **7** ($t_R=26$ min, 1.2 mg)、**8** ($t_R=28$ min, 1.5 mg) 和 **9** ($t_R=34$ min, 1.7 mg)。Fr C27 (8 g) 通过硅胶柱 (100 ~ 200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 洗脱, 得到 15 个流分 (Fr C27 A~Fr C27 O), Fr C27 L (2.4 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (30 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 5 个流分 (Fr C27 L1~Fr C27 L5), Fr C27 L3 (14.8 mg) 使用 Sephadex LH-20 (流动相二氯甲烷-甲醇 1 : 1) 分离, 得到化合物 **10** (2.2 mg)。Fr C32 (12.6 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 洗脱, 得到 11 个流分 (Fr C32 A~Fr C32 K), Fr C32 H (3 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 洗脱, 得到 8 个流分 (Fr C32 H1~Fr C32 H8), Fr C32 H4 (67.7 mg) 经半制备 HPLC (流动相甲醇-水 55 : 45) 分离, 得到化合物 **11** ($t_R=40$ min, 1.7 mg)。

Fr D (280 g) 通过 MCI (流动相乙醇-水 20 : 80~90 : 10) 分离, 得到 4 个流分 (Fr D1~Fr D4)。Fr D1 (3 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 6 个流分 (Fr D1 A~Fr D1 F), Fr D1 B (134.3 mg) 使用 Sephadex LH-20 (流动相二氯甲烷-甲醇 1 : 1) 分离, 得到 5 个流分 (Fr D1 B1~Fr D1 B5), Fr D1 B2 (14.4 mg) 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 25 : 75) 分离, 得到化合物 **12** ($t_R=13$ min, 1.2 mg) 和 **13** ($t_R=20$ min, 0.6 mg); Fr D1 B3 (13.4 mg) 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 30 : 70) 分离, 得到化合物 **14** ($t_R=6.5$ min, 2 mg) 和 **15** ($t_R=14$ min, 1.4 mg); Fr D1 B4 (95.5 mg) 使用 Sephadex LH-20 (洗脱相二氯甲烷: 甲醇=1 : 1) 分离, 得到 3 个流分 (Fr D1 B4 A~Fr D1 B4 C), Fr D1 B4 C (33.1 mg) 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 15 : 85) 分离, 得到化合物 **16** ($t_R=13$ min, 1.4 mg)。Fr D2 (68.2 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-乙酸乙酯 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 7 个流分 (Fr D2 A~Fr D2 G), Fr D2 B (6.5 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 5 个流分 (Fr D2 B1~Fr D2 B5), Fr D2 B4 (3.7 g) 通过硅胶柱 (100~200 目) 分离, 用石油醚-丙酮 (100 : 1~1 : 1)

梯度洗脱, 得到 10 个流分 (Fr D2 B4 A~Fr D2 B4 J), Fr D2 B4 D (567.2 mg) 使用 Sephadex LH-20 (流动相二氯甲烷-甲醇 1 : 1) 分离, 得到 6 个流分 (Fr D2 B4 D1~Fr D2 B4 D6), Fr D2 B4 D3 (46.2 mg) 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 40 : 60) 分离, 得到化合物 **17** ($t_R=7$ min, 5.8 mg)、**18** ($t_R=10$ min, 58.3 mg) 和 **19** ($t_R=13$ min, 3.4 mg); Fr D2 B4 D4 (12.5 mg) 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 45 : 55) 分离, 得到化合物 **20** ($t_R=20$ min, 3.9 mg)。本实验半制备 HPLC 的检测波长均为 210 nm, 体积流量均为 3 mL/min。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 白色粉末状, ESI-MS m/z : 303.1 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 8.15 (1H, s, 7-OH), 7.53 (1H, s, 3'-OH), 6.72 (1H, d, $J=8.5$ Hz, H-5'), 6.65 (1H, d, $J=8.5$ Hz, H-6'), 6.37 (1H, dd, $J=8.2, 2.5$ Hz, H-6), 6.89 (1H, d, $J=8.2$ Hz, H-5), 6.29 (1H, d, $J=2.5$ Hz, H-8), 3.94 (1H, t, $J=10.3$ Hz, H-2b), 4.18 (1H, ddd, $J=10.3, 3.6, 2.1$ Hz, H-2a), 3.86 (3H, s, 4'-OCH₃), 2.93~2.89 (1H, m, H-4a), 3.83 (3H, s, 2'-OCH₃), 3.49~3.41 (1H, m, H-3), 2.79 (1H, ddd, $J=15.6, 5.3, 2.1$ Hz, H-4b); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone) δ : 157.6 (C-7), 156.0 (C-8a), 148.4 (C-2'), 146.7 (C-3'), 140.4 (C-4'), 131.0 (C-5), 128.2 (C-1'), 117.3 (C-6'), 114.2 (C-4a), 108.9 (C-6), 108.0 (C-5'), 103.7 (C-8), 71.0 (C-2), 60.9 (4'-OCH₃), 56.5 (2'-OCH₃), 32.8 (C-3), 32.1 (C-4)。以上数据与文献 [3] 报道基本一致, 故鉴定为 mucronatol。

化合物 **2**: 白色粉末状, ESI-MS m/z : 271.1 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 7.74 (1H, d, $J=8.7$ Hz, H-5), 7.23 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-2', 6'), 6.89 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-3', 5'), 6.58 (1H, dd, $J=8.7, 2.3$ Hz, H-6), 6.41 (1H, d, $J=2.3$ Hz, H-8), 4.64 (2H, dd, $J=7.7, 3.6$ Hz, H-2), 3.90 (1H, dd, $J=7.7, 5.5$ Hz, H-3), 3.77 (3H, s, 4'-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone) δ : 191.0 (C=O), 165.3 (C-7), 164.4 (C-4'), 160.0 (C-8a), 130.6 (C-6'), 130.1 (C-5), 129.2 (C-1'), 115.2 (C-4a), 114.8 (C-3'), 111.4 (C-6), 103.4 (C-8), 72.6 (C-2), 55.5 (4'-OCH₃), 51.7 (C-3)。以上数据与文献

[4] 报道基本一致, 故鉴定为二氢芒柄花黄素。

化合物 3: 白色粉末状, ESI-MS m/z : 287.1 [M-H]⁻。¹H-NMR (600 MHz, Methanol-*d*₄) δ : 7.67 (1H, d, $J=9.0$ Hz, H-6'), 6.80 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3, 5), 6.32 (1H, dd, $J=9.0, 2.2$ Hz, H-5'), 6.25 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-3'), 7.11 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2, 6), 5.15 (1H, dd, $J=7.6, 4.8$ Hz, H- β), 3.05 (1H, dd, $J=14.0, 4.8$ Hz, H- α), 2.87 (1H, dd, $J=14.0, 7.6$ Hz, H- α b), 3.74 (3H, s, 4-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 204.3 (C=O), 166.2 (C-2'), 159.9 (C-4'), 159.6 (C-4), 133.4 (C-6'), 131.5 (C-2, 6), 130.6 (C-1), 114.7 (C-3, 5), 110.2 (C-1'), 103.5 (C-3'), 74.2 (C- β), 55.6 (C- α), 107.7 (C-5'), 42.2 (4-OCH₃)。上述数据与文献 [5] 报道基本一致, 故鉴定为 2', 4'-dihydroxy-4-methoxy- β -hydroxychalconol。

化合物 4: 黄色粉末状, ESI-MS m/z : 269.1 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, Acetone-*d*₆) δ : 7.89 (1H, d, $J=8.9$ Hz, H-5), 6.81 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3', 5'), 6.35 (1H, d, $J=2.4$ Hz, H-8), 6.46 (1H, dd, $J=8.9, 2.4$ Hz, H-6), 7.16 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2', 6'), 5.19 (1H, dd, $J=7.6, 4.5$ Hz, H-2), 3.75 (3H, s, 4'-OCH₃), 3.09 (1H, dd, $J=14.0, 4.5$ Hz, H-3a), 2.88 (1H, dd, $J=14.0, 7.6$ Hz, H-3b); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone) δ : 204.6 (C=O), 167.1 (C-4'), 159.4 (C-8a), 166.8 (C-7), 133.6 (C-1'), 131.4 (C-6'), 130.4 (C-5), 114.4 (C-3'), 111.3 (C-4a), 109.6 (C-6), 103.8 (C-8), 73.9 (C-2), 55.4 (4'-OCH₃), 42.0 (C-3)。上述数据与文献 [6] 报道基本一致, 故鉴定为 7-羟基-4'甲氧基二氢黄酮。

化合物 5: 黄色粉末状, ESI-MS m/z : 257.1 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, Acetone-*d*₆) δ : 7.80 (1H, d, $J=8.8$ Hz, H-2'), 7.11 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-2, 6), 6.75 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-3, 5), 6.41 (1H, dd, $J=8.9, 2.4$ Hz, H-3'), 6.31 (1H, d, $J=2.4$ Hz, H-5'), 3.23 (2H, t, $J=7.5$ Hz, H- α), 2.91 (2H, t, $J=7.7$ Hz, H- β); ¹³C-NMR (151 MHz, Acetone) δ : 204.8 (C=O), 166.2 (C-2'), 166.0 (C-5'), 156.5 (C-4), 133.6 (C-6'), 132.8 (C-1), 130.2 (C-2), 116.0 (C-3), 113.5 (C-1'), 109.0 (C-5'), 103.5 (C-3'), 40.4 (C- α), 30.4 (C- β)。上述数据与文献 [7] 报道基本一致, 故

鉴定为 4, 2', 4'-三羟基二氢查尔酮。

化合物 6: 白色固体, ESI-MS m/z : 299.1 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, Methanol-*d*₄) δ : 7.71 (1H, d, $J=8.8$ Hz, H-5), 7.11 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2', 6'), 6.80 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3', 5'), 6.35 (1H, d, $J=8.8$ Hz, H-6), 5.16 (1H, dd, $J=7.6, 4.9$ Hz, H-2), 4.58 (3H, s, 7-OCH₃), 3.75 (3H, s, 8-OCH₃), 3.06 (1H, dd, $J=14.0, 4.9$ Hz, H-3a), 2.88 (1H, dd, $J=14.0, 7.6$ Hz, H-3b); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 192.7 (C=O), 162.1 (C-4'), 159.9 (C-8a), 156.8 (C-7), 135.8 (C-8), 133.0 (C-1'), 130.1 (C-2'), 122.8 (C-5), 113.3 (C-5'), 110.1 (C-4a), 103.1 (C-6), 79.5 (C-2), 62.2 (8-OCH₃), 53.5 (7-OCH₃), 42.3 (C-3)。以上数据与文献 [8] 报道基本一致, 故鉴定为 6, 7 二甲氧基-4'-羟基二氢黄酮。

化合物 7: 白色固体, ESI-MS m/z : 299.1 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, Methanol-*d*₄) δ : 7.36 (1H, d, $J=8.5$ Hz, H-5), 7.19 (1H, d, $J=8.0$ Hz, H-5'), 7.01 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-2'), 6.84 (1H, dd, $J=8.5, 2.2$ Hz, H-6'), 6.47 ~ 6.33 (2H, m, H-5, 6), 3.84 (3H, s, 8-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 177.1 (C-4), 161.1 (C-6), 160.4 (C-8a), 159.1 (C-2), 157.5 (C-4'), 156.4 (C-3'), 132.6 (C-8), 125.6 (C-5), 112.0 (C-1'), 112.4 (C-6'), 111.8 (C-4a), 111.3 (C-7), 108.1 (C-2'), 103.9 (C-5'), 96.5 (C-3), 56.1 (8-OCH₃)。以上数据与文献 [9] 报道基本一致, 故鉴定为 8-methoxy-7, 3', 4'-trihydroxyflavone。

化合物 8: 黄色固体, ESI-MS m/z : 257.1 [M+H]⁺。¹H-NMR (600 MHz, Acetone-*d*₆) δ : 13.64 (1H, s, 4'-OH), 9.55 (1H, s, 2'-OH), 9.07 (1H, s, 4-OH), 8.13 (1H, d, $J=8.9$ Hz, H-6'), 7.84 (1H, d, $J=15.3$ Hz, H- α), 7.77 (1H, d, $J=15.3$ Hz, H- β), 7.75 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2, 6), 6.93 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3, 5), 6.47 (1H, dd, $J=8.8, 2.4$ Hz, H-5'), 6.37 (1H, d, $J=2.4$ Hz, H-3'); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone) δ : 192.9 (C=O), 167.6 (C-4'), 165.6 (C-2'), 161.0 (C-4), 145.2 (C- β), 133.3 (C-6'), 131.8 (C-6), 127.6 (C-1), 118.3 (C- α), 116.8 (C-5), 114.5 (C-1'), 108.7 (C-5'), 103.8 (C-3')。以上

数据与文献 [10] 报道基本一致, 故鉴定为异甘草素。

化合物 **9**: 黄色固体, ESI-MS m/z : 163.0 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 8.00 (1H, d, $J=6.0$ Hz, H-2), 7.94 (1H, d, $J=8.7$ Hz, H-5), 6.96 (1H, dd, $J=8.7, 2.3$ Hz, H-6), 6.86 (1H, d, $J=2.3$ Hz, H-8), 6.15 (1H, d, $J=6.0$ Hz, H-3); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone) δ : 176.5 (C-4), 163.9 (C-7), 159.2 (C-8a), 156.2 (C-2), 127.8 (C-5), 118.9 (C-4a), 115.8 (C-6), 113.1 (C-3), 103.4 (C-8)。以上数据与文献 [11] 报道基本一致, 故鉴定为7-羟基色原酮。

化合物 **10**: 白色固体, ESI-MS m/z : 267.1 $[M-H]^-$ 。¹H-NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 8.21 (1H, s, H-2), 8.10 (1H, d, $J=8.9$ Hz, H-5), 7.48 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2', 6'), 7.08 (1H, dd, $J=8.9, 1.6$ Hz, H-6), 7.06 (1H, d, $J=1.3$ Hz, H-8), 6.89 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3', 5'), 3.97 (3H, s, 7-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone) δ : 175.7 (C-4), 165.0 (C-7), 158.8 (C-4'), 158.2 (C-8a), 153.4 (C-2), 131.1 (C-6'), 128.1 (C-5), 125.4 (C-3), 124.3 (C-1'), 119.2 (C-4a), 115.8 (C-3'), 115.4 (C-6), 101.1 (C-8), 56.5 (7-OCH₃)。以上数据与文献 [12] 报道基本一致, 故鉴定为7-甲氧基-4'-羟基异黄酮。

化合物 **11**: 白色固体, ESI-MS m/z : 345.1 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 8.26 (1H, s, H-2), 7.47 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2', 6'), 6.91 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-3', 5'), 6.71 (1H, s, H-6), 3.98 (3H, s, 8-OCH₃), 3.80 (3H, s, 7-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, Acetone) δ : 182.1 (C-4), 160.3 (C-7), 158.6 (C-8), 154.6 (C-4'), 154.4 (C-2), 152.3 (C-5), 135.1 (C-8a), 131.2 (C-2'), 124.8 (C-3), 122.3 (C-3), 116.0 (C-1'), 105.4 (C-4a), 91.6 (C-6), 60.5 (8-OCH₃), 56.8 (8-OCH₃)。以上数据与文献 [13] 报道基本一致, 故鉴定为甲基条叶蓟素。

化合物 **12**: 白色固体, ESI-MS m/z : 182.0 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 7.72 (1H, d, $J=8.6$ Hz, H-6), 6.48 (1H, d, $J=2.2$ Hz, H-3), 6.39 (1H, dd, $J=8.6, 2.2$ Hz, H-5), 3.82 (3H, s, -COOCH₃), 3.80 (3H, s, 2-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 168.1 (C=

O), 164.7 (C-4), 163.3 (C-2), 134.9 (C-6), 111.2 (C-1), 108.3 (C-5), 100.4 (C-3), 56.1 (2-OCH₃), 52.0 (-COOCH₃)。以上数据与文献 [14] 报道基本一致, 故鉴定为对羟基邻甲氧基苯甲酸甲酯。

化合物 **13**: 淡黄色固体, ESI-MS m/z : 215.0 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 7.96 (4H, d, $J=8.8$ Hz, H-2, 2', 6, 6'), 6.97 (4H, d, $J=8.8$ Hz, H-3, 3', 5, 5'), 3.86 (6H, s, 4, 4'-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 163.4 (C-4, 4'), 131.3 (C-1, 1'), 27.0 (C-2, 2', 6, 6'), 113.2 (C-3, 3', 5, 5'), 54.5 (4, 4'-OCH₃)。以上数据与文献 [15] 报道基本一致, 故鉴定为4, 4'-二甲氧基联苯。

化合物 **14**: 白色固体, ESI-MS m/z : 167.1 $[M-H]^-$ 。¹H-NMR (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 7.76 (1H, d, $J=8.8$ Hz, H-6), 6.45 (1H, dd, $J=8.8, 2.5$ Hz, H-5), 6.43 (1H, d, $J=2.5$ Hz, H-3), 3.82 (3H, s, 4-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 175.7 (C-7), 167.1 (C-4), 165.4 (C-2), 132.9 (C-6), 107.9 (C-5), 107.1 (C-1), 101.6 (C-3), 56.0 (4-OCH₃)。以上数据与文献 [16] 报道基本一致, 故鉴定为对甲氧基邻羟基苯甲酸。

化合物 **15**: 白色固体, ESI-MS m/z : 153.1 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 7.97 (2H, d, $J=8.9$ Hz, H-2, 6), 6.98 (2H, d, $J=8.8$ Hz, H-3, 5), 3.86 (3H, s, 4-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 170.7 (-COO), 165.0 (C-4), 132.8 (C-2, 6), 124.8 (C-1), 114.7 (C-3, 5), 56.0 (4-OCH₃)。以上数据与文献 [17] 报道基本一致, 故鉴定为对甲氧基苯甲酸。

化合物 **16**: 白色固体, ESI-MS m/z : 111.0 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 7.87 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-3, 4), 6.81 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-2, 5); ¹³C-NMR (150 MHz, MeOD) δ : 161.9 (C-1, 6), 131.6 (C-3, 4), 114.6 (C-2, 5)。以上数据与文献 [18] 报道基本一致, 故鉴定为邻苯二酚。

化合物 **17**: 黄色固体, ESI-MS m/z : 257.1 $[M+H]^+$ 。¹H-NMR (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 7.73 (1H, d, $J=8.7$ Hz, H-5), 7.33 (2H, d, $J=8.6$ Hz, H-2', 6'), 6.82 (2H, d, $J=8.5$ Hz, H-3', 5'), 6.50 (1H, dd, $J=8.7, 2.3$ Hz, H-6), 6.36

(1H, d, $J = 2.3$ Hz, H-8), 5.38 (1H, dd, $J = 13.1, 2.9$ Hz, H-2), 3.05 (1H, dd, $J = 16.9, 13.1$ Hz, H-3b), 2.69 (1H, dd, $J = 16.9, 3.0$ Hz, H-3a); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, MeOD) δ : 193.6 (C-4), 166.9 (C-7), 165.6 (C-9), 159.0 (C-4'), 131.4 (C-1'), 129.9 (C-5), 129.0 (C-2', 6'), 116.3 (C-3', 5'), 115.0 (C-10), 111.8 (C-6), 103.8 (C-8), 81.0 (C-2), 45.0 (C-3)。以上数据与文献 [19] 报道基本一致, 故鉴定为甘草素。

化合物 18: 淡黄色固体, ESI-MS m/z : 301.0 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 8.06 (1H, s, H-2), 7.37 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-2', 6'), 6.84 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-3', 5'), 6.44 (1H, s, H-8), 3.87 (3H, s, 6-OCH₃); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, MeOD) δ : 182.6 (C-4), 158.8 (C-4'), 158.8 (C-5), 155.0 (C-7), 155.0 (C-2), 154.6 (C-9), 132.8 (C-6), 131.4 (C-2', 6'), 124.2 (C-1'), 123.3 (C-3), 116.3 (C-3', 5'), 106.7 (C-10), 95.0 (C-8), 60.9 (3-OCH₃)。以上数据与文献 [20] 报道基本一致, 故鉴定为鸢尾黄素。

化合物 19: 白色固体, ESI-MS m/z : 269.1 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, Acetone- d_6) δ : 8.17 (1H, s, H-2), 8.05 (1H, d, $J = 8.7$ Hz, H-5), 7.56 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, H-2', 6'), 7.00 (1H, d, $J = 2.3$ Hz, H-8), 6.98 (2H, d, $J = 8.8$ Hz, H-3', 5'), 6.89 (1H, dd, $J = 8.7, 2.3$ Hz, H-6), 3.83 (3H, s, 4'-OCH₃); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, Acetone) δ : 175.6 (C-4), 165.2 (C-7), 160.4 (C-9), 158.9 (C-4'), 153.3 (C-2), 131.0 (C-2', 6'), 128.4 (C-4), 125.6 (C-1'), 124.9 (C-3), 118.2 (C-10), 115.9 (C-6), 114.4 (C-3', 5'), 103.1 (C-8), 55.5 (4'-OCH₃)。以上数据与文献 [21] 报道基本一致, 故鉴定为芒柄花黄素。

化合物 20: 白色固体, ESI-MS m/z : 271.1 $[\text{M}+\text{H}]^+$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, Methanol- d_4) δ : 8.06 (1H, s, H-2), 7.37 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-2', 6'), 6.85 (2H, d, $J = 8.5$ Hz, H-3', 5'), 6.34 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-8), 6.22 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-6); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, MeOD) δ : 182.3 (C-4), 166.1 (C-7), 163.9 (C-5), 160.0 (C-4'), 158.8 (C-9), 154.8 (C-2), 131.4 (C-2', 6'), 124.7 (C-3), 123.3 (C-1'), 116.3 (C-3', 5'), 106.3 (C-10), 100.2 (C-6), 94.8 (C-8)。以上数据与文献 [10] 报道基本一致, 故鉴定为染

料木素。

4 抗炎活性研究

将小鼠 RAW264.7 细胞接种于 T25 培养瓶中, 在 37 °C、5% CO₂ 恒温培养箱内常规培养, 取处于对数生长期的细胞, 经 PBS 洗涤、离心处理后, 用完全培养基重悬并调整细胞密度至 $1 \times 10^6/\text{mL}$, 以 100 μL /孔接种于 96 孔板中, 在培养箱中孵育 24 h, 设置空白组、模型组 (1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ LPS)、阳性药组 (50 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 槲皮素)、给药组 (用 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ LPS 配制 50、25、12.5、6.25、3.125 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 化合物溶液), 各组细胞给予相应药物, 孵育 24 h 后取 50 μL 上清液, 加入等量的 Griess I 试剂和 Griess II 试剂, 于 540 nm 波长处测定 OD 值, 并计算 IC₅₀ 值。

根据表 1 的数据分析可知, 异黄酮类化合物的抗炎活性与其取代基的位置和类型相关。具体而言, 当 7 位被甲氧基取代, 化合物的抗炎活性相对较弱; 5 位引入羟基能提升活性。此外, 4' 位的取代基类型对活性强弱的影响不显著。值得注意的是, 当 5 位和 6 位同时存在取代基时, 化合物也表现出较强的抗炎活性。综上所述, 7 位的基团类型是决定抗炎活性的关键因素, 而通过在 5 位和 6 位增加取代基, 可增强化合物的抗炎效果。

表 1 异黄酮类化合物 IC₅₀ 值 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Tab. 1 IC₅₀ values of various compounds ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

化合物	IC ₅₀ / ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)
10	63.60 ± 6.25
11	25.54 ± 0.12
18	21.39 ± 4.19
19	39.08 ± 1.59
20	35.21 ± 1.13
槲皮素	20.14 ± 1.32

5 结论

本实验对刺猬紫檀心材的乙酸乙酯部位展开了化学成分研究, 从中共分离并鉴定了 20 个化合物, 经文献比对, 化合物 1~2、8~9、15~18、20 为首次从该植物中获得, 化合物 3~7、11~14 为首次从紫檀属植物中分离得到, 以上结果丰富了该属植物的化学成分多样性, 为紫檀属植物的化学成分分类学提供了新的数据支撑。在活性研究方面, 本实验通过 LPS 诱导 RAW264.7 炎症模型, 开展对系列异黄酮类化合物 (10~11、18~20) 的炎症抑制活性评价, 结果显示该系列成分具有潜在的抗炎活性。综上所述, 本研究不仅充实了刺猬紫檀的化学成分库, 从化学成分角度初步阐释了其民间药用价

值,同时为后续该植物中天然抗炎先导化合物活性的筛选及其资源的深度开发奠定了坚实的科学基础。

参考文献:

- [1] GB/T18107-2017, 红木[S].
- [2] 戴 兴, 朱 清, 孟晓伟, 等. 刺猬紫檀心材中两个新天然产物化学成分研究[J]. 中药材, 2024, 47(4): 882-886.
- [3] Deesamer S, Kokpol U, Chavasiri W, *et al.* Synthesis and biological evaluation of isoflavone analogues from *Dalbergia oliveri*[J]. *Tetrahedron*, 2007, 63(52): 12896-12993.
- [4] 王姗姗. 光果甘草化学成分及其抗肿瘤活性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2022.
- [5] Veloso P A, Pimenta A T A, Sousa F M D, *et al.* New flavonoids and coumarins from *Platymiscium floribundum* Vogel[J]. *J Braz Chem Soc*, 2012, 23(7): 1239-1243.
- [6] 吕 芳, 徐筱杰. 藏药镰形棘豆中黄酮类化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 318-320.
- [7] Wang Y, Cheng C S, Zhao T R, *et al.* Phytochemicals from *Anneslea fragrans* Wall. and their hepatoprotective and anti-inflammatory activities[J]. *Molecules*, 2023, 28(14): 5480.
- [8] Macías F A, Molinillo J M G, Torres A, *et al.* Bioactive flavonoids from *Helianthus annuus* cultivars[J]. *Phytochemistry*, 1997, 45(4): 683-687.
- [9] Joycharat N, Thammavong S, Limsuwan S, *et al.* Antibacterial substances from *Albizia myriophylla* wood against cariogenic *Streptococcus mutans*[J]. *Arch Pharm Res*, 2013, 36(6): 723-730.
- [10] 喻 杰, 杨 著, 吕秋月, 等. 皖产葛根化学成分及其体外降脂活性研究[J]. 中成药, 2025, 47(5): 1531-1539.
- [11] 刘玉杰, 晏永明, 程永现. 五倍子化学成分研究[J]. 药学研究, 2025, 44(5): 436-440; 462.
- [12] 张 兴, 陶美华, 陈玉婵, 等. 白木香果皮化学成分及其生物活性研究[J]. 中草药, 2013, 44(10): 1248-1252.
- [13] 于玲玲, 宁德生, 符毓夏, 等. 尖尾枫化学成分及其抗炎活性研究[J]. 广西植物, 2021, 41(11): 1875-1881.
- [14] Wu S, Zhao Z D, Okada Y, *et al.* Physiological activity of Chinese Lichen (*Gyrophora esculenta*) component, methyl 2, 4-dihydroxy-6-methylbenzoate and the related compounds[J]. *Asian J Chem*, 2014, 26(3): 702-708.
- [15] 张 蕾, 邹 妍, 叶贤胜, 等. 鬼箭羽的化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(13): 2612-2616.
- [16] 孟令杰, 刘百联, 张 英, 等. 地骨皮化学成分研究[J]. 中草药, 2014, 45(15): 2139-2142.
- [17] 彭 京, 何瑞杰, 谢桃结, 等. 白花洋紫荆花的化学成分及其胰脂肪酶抑制活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2023, 35(1): 47-53.
- [18] 贾晓会. 香榧叶化学成分及抗氧化、抗疲劳活性研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2017.
- [19] 王呈文, 蔡溶真, 陈雨清, 等. 毛麝香黄酮类化学成分研究[J]. 生物化工, 2025, 11(1): 137-140.
- [20] 宋 萍, 亢诗雯, 刘文琪, 等. 鬼箭锦鸡儿化学成分研究[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2025, 44(5): 593-600.
- [21] 庞 妍, 刘 安, 陈兰英, 等. 巴里黄檀心材中一个新天然产物化学成分的研究[J]. 中药材, 2025, 48(3): 628-634.