

• 化学成分 •

斜叶黄檀中 1 个新的异黄酮类化合物

熊亚兰¹, 朱 敏¹, 廖土花¹, 卢澄生^{2,3}, 黄婧琳¹, 王广贤¹, 韦建华^{1,2,3}, 梁臣艳^{1,3*}, 冯 旭^{1,3*}

1. 广西中医药大学药学院, 广西 南宁 530200

2. 广西中医药大学 教学实验实训中心, 广西 南宁 530200

3. 广西中医药大学 中药学国家级实验教学示范中心, 广西 南宁 530200

摘要: **目的** 研究斜叶黄檀 *Dalbergia pinnata* 根茎的化学成分。**方法** 利用硅胶、RP-C₁₈、MCI、Sephadex LH-20 柱色谱、半制备型高效液相色谱及重结晶等方法进行分离纯化, 通过核磁共振等波谱技术确定化合物的结构; 采用体外红细胞溶血法对分离得到的部分单体化合物进行抗补体活性筛选。**结果** 从斜叶黄檀醋酸乙酯部位中分离鉴定了 15 个化合物, 分别为 5,7,4'-三羟基-6,2',5'-三甲氧基异黄酮 (1)、7,3'-二羟基-8,4'-二甲氧基异黄酮 (2)、(-)-驴食草酚 (3)、3-O-乙酰基齐墩果酸 (4)、(-)-杜仲树脂酚 (5)、(-)-表丁香脂素 (6)、(-)-甘草素 (7)、紫柳因 (8)、(-)-异落叶松脂素 (9)、(+)-南烛木树脂酚 (10)、(2R)-3-(3',4'-二甲氧基苯基)-1,2-丙二醇 (11)、(2R)-3-(3',4',5'-三甲氧基苯基)-1,2-丙二醇 (12)、3,3',4,4'-四羟基联苯 (13)、香草酸 (14)、桂皮鞣质 B1 (15)。体外抗补体活性结果表明, 化合物 1、3、7、8 具有不同的体外补体抑制活性, 其半数抑制溶血浓度 (50% hemolytic complement activity, CH₅₀) 分别为 (1.21±0.07)、(0.57±0.03)、(0.12±0.13)、(0.17±0.04) mg/mL。**结论** 化合物 1 为新化合物, 命名为斜叶异黄酮 A, 化合物 2~6、8~15 为首次从该植物中分离得到, 化合物 7 具有显著的体外抗补体活性。

关键词: 斜叶黄檀; 斜叶异黄酮 A; 7,3'-二羟基-8,4'-二甲氧基异黄酮; (-)-甘草素; (-)-异落叶松脂素; 抗补体活性

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)17-6669-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.17.002

A new isoflavone compound isolated from *Dalbergia pinnata*

XIONG Yalan¹, ZHU Min¹, LIAO Tuhua¹, LU Chengsheng^{2,3}, HUANG Sulin¹, WANG Guangxian¹, WEI Jianhua^{1,2,3}, LIANG Chenyan^{1,3}, FENG Xu^{1,3}

1. School of Pharmacy, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530200, China

2. Teaching Center of Experiment and Practical Training, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530200, China

3. National Demonstration Center for Experimental Chinese Medicine Education, Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530200, China

Abstract: Objective To investigate the chemical composition of the rhizome of *Dalbergia pinnata*. **Methods** Separation and purification were performed using silica gel, RP-C₁₈, MCI, Sephadex LH-20 column chromatography, semi-preparative high-performance liquid chromatography and recrystallization; compound structures were identified based on spectroscopic techniques, including NMR spectroscopy; and the anti-complement activity of selected isolated monomeric compounds was screened using an *in vitro* erythrocyte hemolysis assay. **Results** Fifteen compounds were isolated and identified from the ethyl acetate fraction of *D. pinnata*, including 5,7,4'-trihydroxy-6,2',5'-trimethoxyisoflavone (1), 7,3'-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone (2), (-)-vestitol (3), 3-O-acetyloleanolic acid (4), (-)-hydroxymedioresinol (5), (-)-episyngaresinol (6), (-)-liquiritigenin (7), butein (8), (-)-isolariciresinol (9), (+)-lyoniresinol (10), (2R)-3-(3',4'-dimethoxyphenyl)-1,2-propanediol (11), (2R)-3-(3',4',5'-trimethoxyphenyl)-1,2-propanediol

收稿日期: 2026-06-10

基金项目: 广西自然科学基金项目 (2024GXNSFAA010266); 广西自然科学基金项目 (2024GXNSFAA010326); 广西特色中药现代化产业学院 2024 年大学生创新创业训练计划立项项目 (C202409); 广西中医药大学自然科学基金项目 (2022MS031)

作者简介: 熊亚兰 (2001—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药化学。E-mail: 2408266811@qq.com

***通信作者:** 冯 旭, 教授, 硕士生导师, 从事中药化学相关研究。E-mail: fengx@gxtcmu.edu.cn

梁臣艳, 正高级实验师, 硕士生导师, 从事中药化学相关研究。E-mail: liangcy@gxtcmu.edu.cn

(12), 3,3',4,4'-tetrahydroxybiphenyl (13), vanillicvanillylic acid (14), cinnamtannin B1 (15). *In vitro* anti-complement activity assays demonstrated that compounds 1, 3, 7 and 8 exhibited distinct *in vitro* complement inhibitory activities, with their half-maximal hemolysis-inhibitory concentrations (CH_{50}) measuring (1.21 ± 0.07), (0.57 ± 0.03), (0.12 ± 0.13) and (0.17 ± 0.04) mg/mL respectively.

Conclusion Compound 1 is a new compound, designated as dalbergiaisoflavone A, obtained from *D. pinnata*; compounds 2—6 and 8—15 were obtained from this species for the first time, and compound 7 exhibits significant *in vitro* anti-complement activity.

Key words: *Dalbergia pinnata* (Lour.) Prain; dalbergiaisoflavone A; 3',7-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone; (-)-liquiritigenin; (-)-isolariciresinol; anti-complement activity

斜叶黄檀 *Dalbergia pinnata* (Lour.) Prain 为豆科黄檀属乔木, 又名斜叶檀、罗望子叶黄檀, 主要分布于广西、云南、海南及缅甸、马来西亚、印度尼西亚^[1-2]。全株可入药, 味辛, 性温, 具有祛风止痛、活血敛疮、消肿散瘀、调经等作用^[3]。斜叶黄檀中主要含有黄酮类、挥发油类、三萜类成分^[4], 具有抗炎、抗氧化、抗菌、褪黑等作用^[5]。目前国内外对斜叶黄檀的化学成分和药理作用研究较少, 关于斜叶黄檀的研究主要集中在品种鉴定^[6-7]及挥发油的成分分析^[8-9]。本实验对斜叶黄檀药材的化学成分进行研究, 并通过体外红细胞溶血法对分离得到的黄酮类化合物进行抗补体活性测试, 从斜叶黄檀醋酸乙酯部位中分离得到 15 个化合物 (图 1), 根

据理化性质及波谱学数据分别鉴定为 5,7,4'-三羟基-6,2',5'-三甲氧基异黄酮 (5,7,4'-trihydroxy-6,2',5'-trimethoxyisoflavone, 1)、7,3'-二羟基-8,4'-二甲氧基异黄酮 (7,3'-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone, 2)、(-)-驴食草酚 [(-)-vestitol, 3]、3-O-乙酰基齐墩果酸 (3-O-acetyloleanolic acid, 4)、(-)-杜仲树脂酚 [(-)-hydroxymedioresinol, 5]、(-)-表丁香脂素 [(-)-hydroxymedioresinol, 6]、(-)-甘草素 [(-)-liquiritigenin, 7]、紫柳因 (butein, 8)、(-)-异落叶松脂素 [(-)-isolariciresinol, 9]、(+)-南烛木树脂酚 [(+)-lyoniresinol, 10]、(2R)-3-(3',4'-二甲氧基苯基)-1,2-丙二醇 [(2R)-3-(3',4'-dimethoxyphenyl)-1,2-propanediol, 11]、(2R)-3-(3',4',5'-三甲氧基苯基)-1,2-

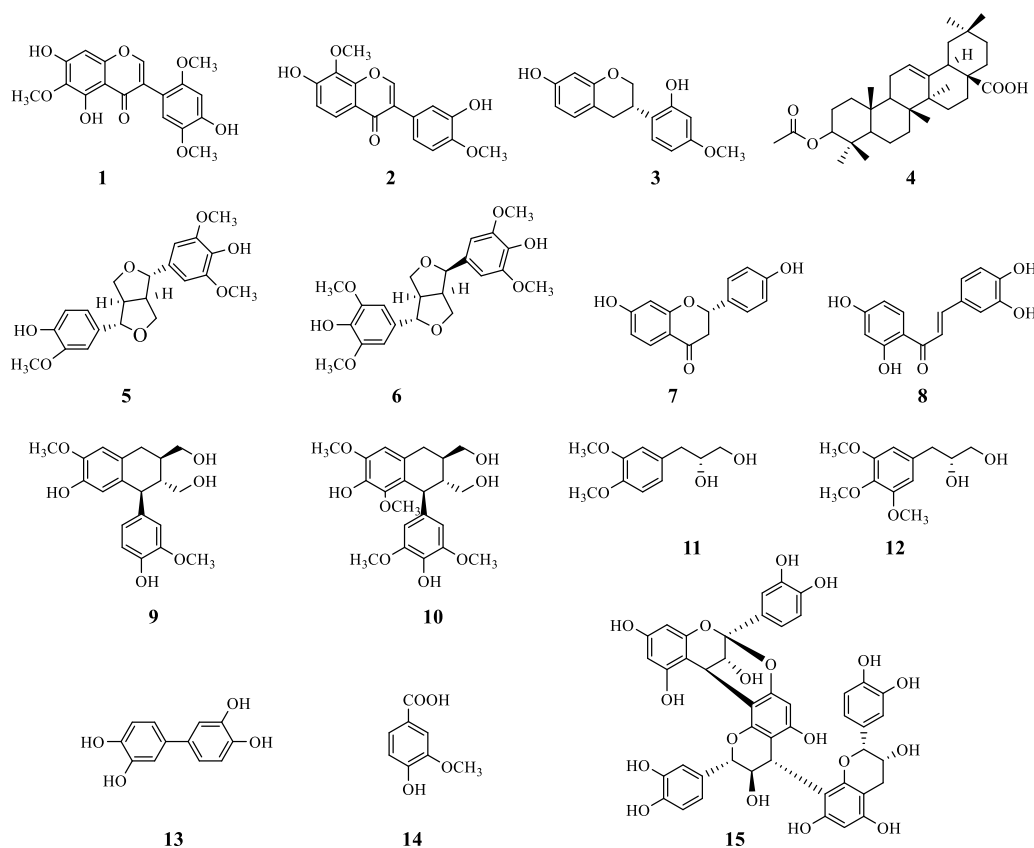


图 1 化合物 1~15 的结构

Fig. 1 Structures of compounds 1—15

丙 二 醇 [(2*R*)-3-(3',4',5'-trimethoxyphenyl)-1,2-propanediol, **12**]、3,3',4,4'-四羟基联苯 (3,3',4,4'-tetrahydroxybiphenyl, **13**)、香草酸 (vanillic acid, **14**)、桂皮鞣质 B1 (cinnamtannin B1, **15**)。其中化合物 **1** 为新化合物, 命名为斜叶异黄酮 A; 活性测试表明, 化合物 **1**、**3**、**7**、**8** 具有不同的体外补体抑制活性。

1 仪器与材料

Agilent G6230 飞行时间质谱仪 (美国 Agilent 公司), AVANCE III500MHz 核磁共振波谱仪 (德国 Bruker 公司); LC-2030 PLUS 高效液相色谱仪、LC-16P 制备型液相色谱仪、LC-20AR 高效液相色谱仪 (日本岛津公司); 赛默飞世尔 NICOLET iS10 型中红外光谱仪 (美国赛默飞世尔公司); 岛津 UV2401PC 型紫外可见分光光度仪 (日本岛津公司); 酶标仪 Biotek Synergy H1 (美国博腾公司); HWS-24 电热恒温水浴锅 (上海齐欣科学仪器有限公司); N-1300D-W 型旋转蒸发仪 (上海爱朗仪器有限公司); EL204 电子天平 (上海梅特勒-托利多仪器有限公司); ZF-7 型三用紫外分析仪 (上海嘉鹏科技有限公司); AB-8 大孔吸附树脂 (天津市光复精细化工研究所); 柱色谱硅胶 (100~200、200~300 目, 国药集团化学试剂有限公司)、薄层硅胶板 (G/GF₂₅₄, 50 mm×100 mm 等, 青岛海洋化工有限公司); 甲醇、乙腈 (色谱纯, Fisher 科技有限公司); 95%乙醇、甲醇、正丁醇、丙酮、醋酸乙酯、氯仿、石油醚 (60~90 °C) 等 (分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 实验用水均为去离子水。溶血素、豚鼠血清 (上海源叶生物科技有限公司); 肝素钠 (北京索莱宝科技有限公司); 绵羊血 (北京博尔西科技有限公司); 氯化钠、氯化钙 (成都金山化学试剂有限公司); 六水合氯化镁 (上海阿拉丁试剂有限公司); 巴比妥钠 (国药集团化学试剂有限公司); 巴比妥 (广州化学试剂厂)。

斜叶黄檀药材于 2020 年 12 月采自广西南宁市武鸣区两江镇, 经广西中医药大学廖月葵高级实验师鉴定为豆科黄檀属植物斜叶黄檀 *D. pinnata* (Lour.) Prain 的干燥根茎。样品标本 (XYHT202012) 存放在广西中医药大学中药化学实验室。

2 方法

2.1 提取与分离

斜叶黄檀根茎粗粉 30.1 kg, 依次用 10 倍量 95% 和 60%乙醇渗漉提取, 减压回收溶剂得总浸膏 4.71

kg。取总浸膏 (4.61 kg) 加适量温水悬浮, 依次用石油醚 (60~90 °C)、醋酸乙酯、水饱和正丁醇萃取, 减压回收溶剂后得到石油醚部位浸膏 (30.0 g)、醋酸乙酯部位浸膏 (911.8 g)、正丁醇部位浸膏 (1 384.2 g) 和水部位浸膏 (296.8 g)。

称取醋酸乙酯部位浸膏 366.0 g, 经大孔吸附树脂 (AB-8) 柱色谱分离, 乙醇-水溶剂体系 (0、20%、30%、40%、60%、80%、95%乙醇) 梯度洗脱, 检识合并得到 5 个组分 (Fr. A~E)。Fr. C (90.0 g) 经硅胶柱色谱 (氯仿-甲醇) 分离得到 9 个组分 (Fr. C-1~C-9), Fr. C-1 (7.0 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→0:1) 分离, 得到 8 个组分 (Fr. C-1-1~C-1-8), Fr. C-1-4 (1.0 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→0:1) 分离, 得到 6 个组分 (Fr. C-1-4-1~C-1-4-6)。Fr. C-1-4-3 流分经半制备 HPLC (乙腈-水 30:70) 分离纯化, 得到化合物 **4** (11.0 mg, $t_R=30.27$ min)。Fr. C-1-4-4 (0.5 g) 经 C₁₈ 柱色谱 (甲醇-水 30:70→100:0) 分离, 得到 6 个组分 (Fr. C-1-4-4-1~C-1-4-4-6)。Fr. C-1-4-4-4 经半制备 HPLC (甲醇-水 48:52) 分离纯化, 得到化合物 **2** (2.0 mg, $t_R=28.86$ min)。Fr. C-1-4-5 (0.15 g) 经硅胶柱色谱 (石油醚-丙酮 7:1→0:1) 分离, 得到 2 个组分 (Fr. C-1-4-5-1~C-1-4-5-2)。Fr. C-1-4-5-2 流分经半制备 HPLC (甲醇-水 53:47) 分离纯化, 得到化合物 **1** (2.0 mg, $t_R=26.56$ min)。Fr. C-1-5 (1.0 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→0:1) 分离, 得到 4 个组分 (Fr. C-1-5-1~C-1-5-4)。Fr. C-1-5-2 (0.2 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→10:1) 分离, 得到 4 个组分 (Fr. C-1-5-2-1~C-1-5-2-4)。Fr. C-1-5-2-2 流分经半制备 HPLC (甲醇-水 46:54) 分离纯化得化合物 **5** (4.0 mg, $t_R=28.50$ min)、**6** (5.0 mg, $t_R=34.48$ min)。Fr. C-2 (5.96 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→0:1) 分离, 得到 9 个组份 (Fr. C-2-1~C-2-9)。Fr. C-2-2 (1.5 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→0:1) 分离, 得到 6 个组分 (Fr. C-2-2-1~C-2-2-6)。Fr. C-2-2-4 (0.5 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→0:1) 分离, 得到 4 个组分 (Fr. C-2-2-4-1~C-2-2-4-4)。Fr. C-2-2-4-2 流分经半制备 HPLC (甲醇-水 53:47) 分离纯化, 得到化合物 **3** (2.0 mg, $t_R=29.25$ min)。Fr. C-2-2-4-3 经半制备 HPLC (乙腈-水 28:72) 二次分离纯化, 得到化合物 **7** (2.0 mg, $t_R=26.59$ min)。Fr. C-3 (5.0 g) 经 MCI 柱色谱 (甲醇-水 30:

70→100:0) 分离, 得到 6 个组分 (Fr. C-3-1~C-3-6)。Fr. C-3-1 (0.2 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 50:1→0:1) 分离, 得到 4 个组分 (Fr. C-3-1-1~C-3-1-4)。Fr. C-3-1-2 流分经半制备 HPLC (甲醇-水 41:59) 分离纯化, 得到化合物 **9** (2.0 mg, $t_R=17.70$ min)。Fr. C-4 (1.8 g) 经 C_{18} 柱色谱 (甲醇-水 25:75→100:0) 分离, 得到 5 个组分 (Fr. C-4-1~C-4-5)。Fr. C-4-4 (0.5 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 30:1→0:1) 分离, 得到 5 个组分 (Fr. C-4-4-1~C-4-4-5)。Fr. C-4-4-2 黄色沉淀物经甲醇反复重结晶得到化合物 **8** (10.2 mg)。Fr. B (90.0 g) 经 MCI 柱色谱 (甲醇-水 30:70→35:65→43:57→53:47→58:42→63:36→68:32→73:27→93:7→100:0) 梯度洗脱, 得到 6 个组分 (Fr. B-1~B-6)。Fr. B-2 (10.0 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 20:0→0:1) 分离, 得到 5 个组分 (Fr. B-2-1~B-2-5)。Fr. B-2-2 经凝胶柱色谱 (氯仿-甲醇 1:1) 分离, 得到 4 个组分 (Fr. B-2-2-1~B-2-2-4)。Fr. B-2-3 (0.9 g) 经 C_{18} 柱色谱 (甲醇-水 0:100→100:0) 分离, 得到 5 个组分 (Fr. B-2-3-1~B-2-3-5)。Fr. B-2-3-2 经半制备 HPLC (甲醇-水 18:82) 分离纯化, 得化合物 **15** (20.0 mg, $t_R=18.24$ min)。Fr. B-3 (6.0 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 30:0→0:1) 分离, 得 5 个组分 (Fr. B-3-1~B-3-5)。Fr. B-3-1 (1.0 g) 以硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 30:1→1:1) 分离, 得到 4 个组分 (Fr. B-3-1-1~B-3-1-4)。Fr. B-3-1-1 流分经半制备 HPLC (甲醇-水 30:70) 分离纯化, 得到化合物 **14** (3.0 mg, $t_R=22.83$ min)。Fr. B-3-1-2 流分经半制备 HPLC (甲醇-水 30:70) 分离纯化, 得到化合物 **11** (15.0 mg, $t_R=27.21$ min) 和 **12** (22.0 mg, $t_R=33.86$ min)。Fr. B-3-1-3 流分经半制备 HPLC (甲醇-水 29:71) 分离纯化, 得到化合物 **13** (1.0 mg, $t_R=26.96$ min)。Fr. B-4 (25.0 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 50:1→0:1) 分离, 得到 4 个组分 (Fr. B-4-1~B-4-4)。Fr. B-4-2 (2.0 g) 经硅胶柱色谱 (二氯甲烷-甲醇 100:0→0:1) 分离, 得到 7 个组分 (Fr. B-4-2-1~B-4-2-7)。Fr. B-4-2-4 经半制备 HPLC (甲醇-水 29:71) 分离纯化得化合物 **10** (4.0 mg, $t_R=46.96$ min)。

2.2 体外抗补体活性测定

参考张姣等^[10]方法, 采用体外细胞溶血法测定样品对补体经典途径的抑制活性。取巴比妥钠 2.875 g, 溶于 250 mL 热水中, 超声振荡以加速溶解, 再

加入 NaCl 42.5 g、 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.84 g、 $CaCl_2$ 0.14 g、巴比妥 1.0 g, 补三蒸水至 1 000 mL 配制出 5 倍浓缩的 BBS (5×BBS)。使用时, 将 50 mL 此溶液加 200 mL 三蒸水混合, 配制成 1×BBS。将绵羊血用 1×BBS 缓冲溶液洗涤至上清液无色后按比例稀释成 2% 绵羊血细胞 (2% SRBC)。取 20 μ L 溶血素溶于 20 mL 1×BBS 中, 混匀, 得到 1:1 000 溶血素溶液。取 40 μ L 豚鼠血清, 用 1×BBS 缓冲液稀释成 1:10、1:20、1:40、1:80、1:160、1:320、1:640、1:1 280 的补体溶液。称取化合物 3.0 mg, 加入 1×BBS 缓冲液进行梯度稀释, 得到 8 种不同浓度的供试品溶液。样品组取 200 μ L 供试品溶液, 加入 200 μ L 补体溶液、100 μ L 溶血素溶液 (1:1 000) 与 100 μ L 2% SRBC; 对照组取 200 μ L 供试品溶液, 加入 200 μ L 1×BBS 缓冲液、100 μ L 溶血素溶液 (1:1 000) 与 100 μ L 2% SRBC。于 37 °C 条件下孵育 30 min, 离心后取 200 μ L 上清液, 在 405 nm 波长处测定吸光度 (A)。肝素钠作为阳性对照组, 按公式计算溶血抑制率, 以供试品浓度为横坐标 (X), 溶血抑制率为纵坐标 (Y), 计算半数抑制溶血浓度 (50% hemolytic complement activity, CH_{50})。

$$\text{溶血抑制率} = 1 - (A_{\text{样品}} - A_{\text{对照}}) / A_{\text{补体}}$$

3 结构鉴定

化合物 **1**: 白色粉末, 易溶于甲醇。UV $\lambda_{\text{max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 205.5, 264.0, 297.0。IR $\nu_{\text{max}}^{\text{KBr}}$ (cm^{-1}): 3 400, 2 955, 2 864, 1 658, 1 464, 1 375, 812。HR-ESI-MS 测定其准分子离子峰为 m/z 359.076 4 $[M-H]^-$ (calcd. for $C_{18}H_{15}O_8$ 359.076 7) 确定化合物 **1** 的分子式为 $C_{18}H_{16}O_8$, 不饱和度为 11。 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) 谱图中, 显示 4 个芳香氢质子信号, 其中 δ_H 8.17 (1H, s) 为异黄酮 H-2 质子的特征信号, δ_H 6.49 (1H, d, $J=1.0$ Hz), 6.58 (1H, d, $J=0.9$ Hz), 6.85 (1H, d, $J=0.9$ Hz) 提示结构中存在 1 个 1,2,4,5-四取代苯环 (B 环) 和 1 个 1,2,3,4,5-五取代苯环 (A 环), 通过 HSQC 谱确定它们对应的碳信号分别为 δ_C 155.4, 93.9, 100.8, 116.6; δ_H 3.73 (3H, s), 3.63 (3H, s), 3.71 (3H, s) 为 3 个甲氧基氢质子信号, 通过 HSQC 谱确定它们对应的碳信号分别为 δ_C 60.0, 56.7, 56.0。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) 谱显示了 18 个碳信号, 包括 11 个季碳、4 个次甲基碳和 3 个甲氧基碳信号, 其中 δ_C 180.5 为异黄酮 4 位羰基碳特征信号, 结合 $^1\text{H-NMR}$ 谱信号, 推断该化合物为异黄酮类化合物。HMBC 谱 (图 2) 中显示 H-

2 与 C-3、C-4、C-9、C-1' 相关, H-8 与 C-6、C-7、C-9、C-10 相关, H-3' 与 C-2'、C-4' 相关, H-6' 与 C-1'、C-2'、C-4'、C-5' 相关, 进一步证实该结构为异黄酮母核的存在。6-OMe 与 C-6 相关, 2'-OMe 与 C-2' 相关, 5'-OMe 与 C-5' 相关, 确定 3 个甲氧基分别与 C-6、C-

2'、C-5' 相连。综上, 确定化合物 1 的结构为 5,7,4'-三羟基-6,2',5'-三甲氧基异黄酮 (图 2), 经 Scifinder 检索为未见文献报道的新化合物, 命名为斜叶异黄酮 A。根据 1D 和 2D NMR 数据, 对化合物 1 的 ^1H -NMR 和 ^{13}C -NMR 信号进行全归属, 见表 1。

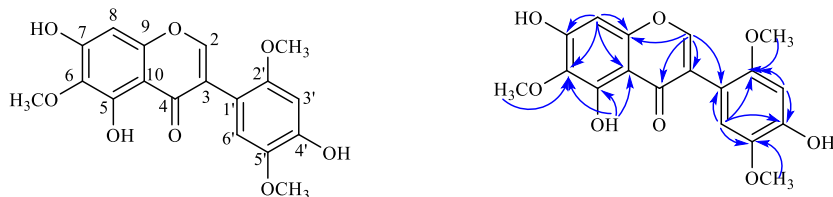


图 2 化合物 1 的结构和 HMBC 相关信号

Fig. 2 Structure and key HMBC correlations of compound 1

表 1 化合物 1 的 ^1H -NMR 和 ^{13}C -NMR 数据 (500/125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$)

Table 1 ^1H -NMR and ^{13}C -NMR data of compound 1 (500/125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$)

碳位	δ_{C}	δ_{H}	碳位	δ_{C}	δ_{H}
2	155.4 (d)	8.17 (1H, s)	1'	109.2 (s)	
3	119.8 (s)		2'	152.1 (s)	
4	180.5 (s)		3'	100.8 (d)	6.58 (1H, d, $J = 0.9$ Hz)
5	153.1 (s)		4'	147.9 (s)	
6	131.4 (s)		5'	141.1 (s)	
7	157.5 (s)		6'	116.6 (d)	6.85 (1H, d, $J = 0.9$ Hz)
8	93.9 (d)	6.49 (1H, d, $J = 1.0$ Hz)	6-OCH ₃	60.0 (q)	3.73 (3H, s)
9	152.8 (s)		2'-OCH ₃	56.7 (q)	3.63 (3H, s)
10	104.7 (s)		5'-OCH ₃	56.0 (q)	3.71 (3H, s)

化合物 2: 白色针状结晶 (氯仿), ESI-MS m/z : 313 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{17}\text{H}_{14}\text{O}_6$ 。 ^1H -NMR (500 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 8.35 (1H, s, H-2), 7.70 (1H, d, $J = 8.9$ Hz, H-5), 7.04 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-2'), 6.99 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-6), 6.97~6.92 (2H, m, H-5',6'), 3.86 (3H, s, 8-OCH₃), 3.79 (3H, s, 4'-OCH₃); ^{13}C -NMR (125 MHz, $\text{DMSO}-d_6$) δ : 152.9 (C-2), 123.1 (C-3), 174.7 (C-4), 120.7 (C-5), 115.5 (C-6), 154.2 (C-7), 134.7 (C-8), 150.7 (C-9), 116.5 (C-10), 124.7 (C-1'), 112.1 (C-2'), 146.0 (C-3'), 147.5 (C-4'), 116.5 (C-5'), 119.7 (C-6'), 60.7 (8-OCH₃), 55.7 (4'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[11], 故鉴定化合物 2 为 7,3'-二羟基-8,4'-二甲氧基异黄酮。

化合物 3: 白色粉末, $[\alpha]_{\text{D}}^{20} -14.00$ (c 0.1, MeOH); ESI-MS m/z : 271 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{16}\text{H}_{16}\text{O}_4$ 。 ^1H -NMR (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.96 (1H, d, $J = 8.3$ Hz, H-5), 6.86 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-6'), 6.38 (1H, d, $J = 2.5$ Hz, H-3'), 6.37 (1H, m, H-6), 6.30 (1H, dd, $J = 8.2$,

2.5 Hz, H-5'), 6.21 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-8), 4.21 (1H, dt, $J = 10.4, 2.8$ Hz, H-2a), 3.93 (1H, t, $J = 10.2$ Hz, H-2b), 3.71 (3H, s, 4'-OCH₃), 3.42 (1H, tt, $J = 9.7, 4.2$ Hz, H-3), 2.93 (1H, dd, $J = 15.6, 10.9$ Hz, H-4a), 2.77 (1H, m, H-4b); ^{13}C -NMR (150 MHz, CD_3OD) δ : 71.1 (C-2), 33.1 (C-3), 31.4 (C-4), 131.2 (C-5), 109.0 (C-6), 160.8 (C-7), 103.8 (C-8), 157.3 (C-9), 114.9 (C-10), 121.4 (C-1'), 157.5 (C-2'), 102.4 (C-3'), 156.4 (C-4'), 105.7 (C-5'), 128.8 (C-6'), 55.6 (4'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[12], 故鉴定化合物 3 为 (-)-驴食草酚。

化合物 4: 白色针状结晶 (甲醇), ESI-MS m/z : 497 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{32}\text{H}_{50}\text{O}_4$ 。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 5.27 (1H, t, $J = 4.0$ Hz, H-12), 4.49 (1H, m, H-3), 2.81 (1H, dd, $J = 13.9, 4.6$ Hz, H-18), 2.04 (3H, s, -COCH₃), 1.12 (3H, s, 27-CH₃), 0.94 (3H, s, 30-CH₃), 0.93 (3H, s, 29-CH₃), 0.90 (3H, s, 25-CH₃), 0.86 (3H, s, 23-CH₃), 0.85 (3H, s, 24-CH₃), 0.74 (3H,

s, 26-CH₃); ¹³C-NMR (125 MHz, CDCl₃) δ: 38.2 (C-1), 23.5 (C-2), 81.0 (C-3), 37.8 (C-4), 55.4 (C-5), 18.3 (C-6), 32.5 (C-7), 39.4 (C-8), 47.7 (C-9), 37.1 (C-10), 23.0 (C-11), 122.7 (C-12), 143.7 (C-13), 41.7 (C-14), 28.2 (C-15), 23.6 (C-16), 45.9 (C-17), 41.0 (C-18), 46.6 (C-19), 30.8 (C-20), 34.0 (C-21), 32.6 (C-22), 27.8 (C-23), 16.8 (C-24), 15.5 (C-25), 17.3 (C-26), 26.0 (C-27), 183.8 (C-28), 23.7 (C-29), 33.2 (C-30), 171.2 (C=O), 21.5 (C-CH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定化合物 **4** 为 3-*O*-乙酰基齐墩果酸。

化合物 **5**: 白色粉末, $[\alpha]_D^{20}$ -4.00 (*c* 0.1, MeOH); ESI-MS *m/z*: 387 [M-H]⁻, 分子式为 C₂₁H₂₄O₇。¹H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 6.87 (1H, d, *J* = 1.9 Hz, H-2), 6.74 (1H, dd, *J* = 8.1, 1.9 Hz, H-6), 6.71 (1H, d, *J* = 8.1 Hz, H-5), 6.58 (2H, s, H-2', 6'), 4.61 (2H, m, H-7, 7'), 4.13 (2H, m, H-9a, 9a'), 3.73 (2H, dd, *J* = 8.8, 3.5 Hz, H-9b, 9b'), 3.03 (2H, d, *J* = 4.3 Hz, H-8, 8'), 3.76 (3H, s, 3-OCH₃), 3.75 (6H, s, 3', 5'-OCH₃); ¹³C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 132.2 (C-1), 110.4 (C-2), 147.5 (C-3), 145.9 (C-4), 115.2 (C-5), 118.6 (C-6), 85.4 (C-7), 53.7 (C-8), 71.1 (C-9), 131.4 (C-1'), 103.6 (C-2'), 147.9 (C-3'), 134.8 (C-4'), 147.9 (C-5'), 103.6 (C-6'), 85.2 (C-7'), 53.5 (C-8'), 70.9 (C-9'), 55.6 (3-OCH₃), 56.0 (3', 5'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[14], 故鉴定化合物 **5** 为 (-)-杜仲树脂酚。

化合物 **6**: 白色粉末, $[\alpha]_D^{20}$ -14.02 (*c* 0.1, MeOH); ESI-MS *m/z*: 417 [M-H]⁻, 分子式为 C₂₂H₂₆O₂₈。¹H-NMR (600 MHz, CD₃COCD₃) δ: 6.68 (4H, s, H-2, 2', 6, 6'), 4.82 (1H, d, *J* = 6.0 Hz, H-7'), 4.34 (1H, d, *J* = 6.9 Hz, H-7), 4.12 (1H, dd, *J* = 9.2, 1.3 Hz, H-9a'), 3.86 (12H, s, 3, 3', 5, 5'-OCH), 3.79 (2H, m, H-9b, 9b'), 3.40 (1H, m, H-9a), 3.21 (1H, t, *J* = 8.7 Hz, H-8), 2.85 (1H, d, *J* = 1.3 Hz, H-8'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃COCD₃) δ: 130.3 (C-1), 104.0 (C-2), 148.5 (C-3), 135.6 (C-4), 148.5 (C-5), 104.0 (C-6), 82.8 (C-7), 55.6 (C-8), 70.1 (C-9), 133.2 (C-1'), 104.4 (C-2'), 148.6 (C-3'), 136.2 (C-4'), 148.6 (C-5'), 104.4 (C-6'), 88.7 (C-7'), 50.8 (C-8'), 71.5 (C-9'), 56.6 (3, 3', 5, 5'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[15], 故鉴定化合物 **6** 为 (-)-表丁香脂素。

化合物 **7**: 淡黄色粉末, $[\alpha]_D^{20}$ -2.00 (*c* 0.1, MeOH); ESI-MS *m/z*: 255.1 [M-H]⁻, 分子式为 C₁₅H₁₂O₄。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.70 (1H,

d, *J* = 8.8 Hz, H-5), 7.32 (2H, m, H-2', 6'), 6.81 (2H, m, H-3', 5'), 6.45 (1H, dd, *J* = 8.8, 2.2 Hz, H-6), 6.29 (1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-8), 5.36 (1H, dd, *J* = 13.0, 2.9 Hz, H-2), 3.02 (1H, dd, *J* = 16.9, 13.1 Hz, H-3a), 2.67 (1H, dd, *J* = 16.9, 2.9 Hz, H-3b); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 81.0 (C-2), 45.0 (C-3), 193.4 (C-4), 129.8 (C-5), 112.7 (C-6), 165.8 (C-7), 104.1 (C-8), 165.8 (C-9), 114.2 (C-10), 131.5 (C-1'), 129.0 (C-2'), 116.3 (C-3'), 159.0 (C-4'), 116.3 (C-5'), 129.0 (C-6')。以上数据与文献报道基本一致^[16], 故鉴定化合物 **7** 为 (-)-甘草素。

化合物 **8**: 黄色无定型粉末, ESI-MS *m/z*: 271 [M-H]⁻, 分子式为 C₁₅H₁₂O₅。¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ: 7.96 (1H, d, *J* = 8.9 Hz, H-6'), 7.74 (1H, d, *J* = 15.3 Hz, H-β), 7.55 (1H, d, *J* = 15.2 Hz, H-α), 7.20 (1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-2), 7.13 (1H, dd, *J* = 8.1, 2.1 Hz, H-6), 6.84 (1H, d, *J* = 8.2 Hz, H-5), 6.44 (1H, dd, *J* = 8.9, 2.4 Hz, H-5'), 6.31 (1H, d, *J* = 2.4 Hz, H-3'); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ: 128.4 (C-1), 115.8 (C-2), 146.8 (C-3), 149.9 (C-4), 116.6 (C-5), 118.3 (C-6), 193.5 (C=O), 123.6 (C-α), 146.1 (C-β), 114.7 (C-1'), 166.3 (C-2'), 103.8 (C-3'), 167.5 (C-4'), 109.1 (C-5'), 133.3 (C-6')。以上数据与文献报道基本一致^[17], 故鉴定化合物 **8** 为紫铆因。

化合物 **9**: 白色粉末, $[\alpha]_D^{20}$ -2.00 (*c* 0.1, MeOH); ESI-MS *m/z*: 359 [M-H]⁻, 分子式为 C₂₀H₂₄O₆。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.73 (1H, d, *J* = 8.0 Hz, H-5), 6.67 (1H, d, *J* = 2.0 Hz, H-2), 6.65 (1H, s, H-5'), 6.61 (1H, dd, *J* = 8.1, 2.0 Hz, H-6), 6.17 (1H, s, H-2'), 3.80 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.77 (3H, s, 3-OCH₃), 3.70 (1H, dd, *J* = 10.9, 4.8 Hz, H-7), 3.65 (3H, m, H-9a, 9'), 3.39 (1H, dd, *J* = 11.3, 4.1 Hz, H-9b), 2.77 (2H, d, *J* = 7.7 Hz, H-7'), 1.99 (1H, d, *J* = 8.9 Hz, H-8'), 1.75 (1H, d, *J* = 3.6 Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 134.2 (C-1), 112.4 (C-2), 147.2 (C-3), 145.3 (C-4), 116.0 (C-5), 123.2 (C-6), 48.1 (C-7), 48.0 (C-8), 62.2 (C-9), 129.0 (C-1'), 113.7 (C-2'), 149.0 (C-3'), 146.0 (C-4'), 117.4 (C-5'), 138.6 (C-6'), 33.6 (C-7'), 40.0 (C-8'), 65.9 (C-9'), 56.3 (3-OCH₃), 56.4 (3'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[18], 故鉴定化合物 **9** 为 (-)-异落叶松脂素。

化合物 **10**: 白色粉末, $[\alpha]_D^{20}$ +34.05 (*c* 0.1, MeOH); ESI-MS *m/z*: 419 [M-H]⁻, 分子式为 C₂₂H₂₈O₈。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.58 (1H,

s, H-2), 6.37 (2H, s, H-2', 6'), 4.30 (1H, d, $J = 5.7$ Hz, H-7'), 3.85 (3H, s, 3-OCH₃), 3.73 (6H, s, 3', 5'-OCH₃), 3.58 (1H, dd, $J = 10.8, 5.0$ Hz, H-9a), 3.49 (3H, m, H-9b, 9'), 3.36 (3H, s, 5-OCH₃), 2.69 (1H, dd, $J = 15.1, 4.7$ Hz, H-7a), 2.56 (1H, dd, $J = 15.0, 11.4$ Hz, H-7b), 1.96 (1H, m, H-8'), 1.62 (1H, m, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ : 130.2 (C-1), 107.7 (C-2), 148.6 (C-3), 138.9 (C-4), 147.7 (C-5), 126.2 (C-6), 33.6 (C-7), 42.3 (C-8), 66.7 (C-9), 139.3 (C-1'), 106.8 (C-2'), 149.0 (C-3'), 134.5 (C-4'), 149.0 (C-5'), 106.8 (C-6'), 42.3 (C-7'), 40.9 (C-8'), 64.1 (C-9'), 56.7 (3-OCH₃), 60.1 (5-OCH₃), 56.6 (3'-OCH₃), 56.6 (5'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[19], 故鉴定化合物 **10** 为 (+)-南烛木树脂酚。

化合物 **11**: 白色块状结晶 (丙酮), $[\alpha]_D^{20} -38.03$ (c 0.1, MeOH); ESI-MS m/z : 211 [M-H]⁻, 分子式为 C₁₁H₁₆O₄。 ¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 6.86 (2H, m, H-2', 5'), 6.78 (1H, dd, $J = 8.2, 2.0$ Hz, H-6'), 3.82 (3H, s, 3'-OCH₃), 3.79~3.75 (1H, m, H-2), 3.79 (3H, s, 4'-OCH₃), 3.50 (1H, dd, $J = 11.1, 4.5$ Hz, H-1b), 3.44 (1H, dd, $J = 11.2, 6.2$ Hz, H-1a), 2.77 (1H, dd, $J = 13.8, 5.6$ Hz, H-3b), 2.62 (1H, dd, $J = 13.8, 7.5$ Hz, H-3a); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 66.6 (C-1), 74.5 (C-2), 40.4 (C-3), 133.1 (C-1'), 113.1 (C-2'), 148.9 (C-3'), 150.2 (C-4'), 114.5 (C-5'), 122.8 (C-6'), 56.4 (3'-OCH₃), 56.5 (4'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[20], 故鉴定化合物 **11** 为 (2R)-3-(3',4'-二甲氧基苯基)-1,2-丙二醇

化合物 **12**: 白色块状结晶 (丙酮), $[\alpha]_D^{20} -36.02$ (c 0.05, MeOH); ESI-MS m/z : 241 [M-H]⁻, 分子式为 C₁₂H₁₈O₅。 ¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 6.56 (2H, s, H-2', 6'), 3.82 (6H, s, 3', 5'-OCH₃), 3.78 (1H, m, H-2), 3.73 (3H, s, 4'-OCH₃), 3.51 (1H, dd, $J = 11.1, 4.6$ Hz, H-1b), 3.46 (1H, dd, $J = 11.1, 6.1$ Hz, H-1a), 2.78 (1H, dd, $J = 13.7, 5.3$ Hz, H-3b), 2.62 (1H, dd, $J = 13.7, 7.8$ Hz, H-3a); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 66.6 (C-1), 74.4 (C-2), 41.2 (C-3), 136.4 (C-1'), 107.7 (C-2'), 154.3 (C-3'), 136.4 (C-4'), 154.3 (C-5'), 107.7 (C-6'), 56.5 (3'-OCH₃), 61.1 (4'-OCH₃), 56.5 (5'-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[21], 故鉴定化合物 **12** 为 (2R)-3-(3',4',5'-三甲氧基苯基)-1,2-丙二醇。

化合物 **13**: 白色粉末, ESI-MS m/z : 217 [M-

H]⁻, 分子式为 C₁₂H₁₀O₄。 ¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 6.95 (2H, d, $J = 2.2$ Hz, H-2, 2'), 6.84 (2H, dd, $J = 8.2, 2.2$ Hz, H-6, 6'), 6.77 (2H, d, $J = 8.2$ Hz, H-5, 5'); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 134.8 (C-1, 1'), 114.6 (C-2, 2'), 145.3 (C-3, 3'), 146.4 (C-4, 4'), 116.5 (C-5, 5'), 118.9 (C-6, 6')。以上数据与文献报道基本一致^[22], 故鉴定化合物 **13** 为 3,3',4,4'-四羟基联苯。

化合物 **14**: 白色针状结晶 (甲醇), ESI-MS m/z : 167 [M-H]⁻, 分子式为 C₈H₈O₄。 ¹H-NMR (500 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 7.42 (2H, m, H-5, 6), 6.82 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-2), 3.79 (3H, s, 3-OCH₃); ¹³C-NMR (125 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 121.7 (C-1), 112.7 (C-2), 147.2 (C-3), 151.1 (C-4), 115.0 (C-5), 123.5 (C-6), 167.3 (C-7), 55.5 (3-OCH₃)。以上数据与文献报道基本一致^[23], 故鉴定化合物 **14** 为香草酸。

化合物 **15**: 灰白色粉末, ESI-MS m/z : 863 [M-H]⁻, 分子式为 C₄₅H₃₆O₁₈。 ¹H-NMR (500 MHz, CD₃OD) δ : 7.30 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-2'), 7.18 (1H, dd, $J = 8.3, 2.0$ Hz, H-6'), 7.02 (1H, d, $J = 1.9$ Hz, H-2'''), 6.84 (1H, dd, $J = 8.3, 2.0$ Hz, H-6'''), 6.82 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-5'''), 6.81 (1H, d, $J = 8.3$ Hz, H-5'), 6.81 (1H, d, $J = 1.7$ Hz, H-6'''), 6.74 (1H, d, $J = 8.1$ Hz, H-3'''), 6.71 (1H, dd, $J = 8.2, 1.7$ Hz, H-2'''), 6.09 (1H, s, H-6'''), 6.00 (1H, d, $J = 2.3$ Hz, H-8''), 5.95 (1H, d, $J = 2.3$ Hz, H-6''), 5.79 (1H, s, H-6), 5.69 (1H, s, H-2), 4.55 (1H, s, H-4), 4.37 (1H, s, H-2'''), 4.14 (1H, d, $J = 3.5$ Hz, H-4'''), 4.11 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-3), 3.85 (1H, d, $J = 3.7$ Hz, H-3'''), 3.27 (1H, d, $J = 3.5$ Hz, H-3'), 2.81 (2H, m, H-4'''); ¹³C-NMR (125 MHz, CD₃OD) δ : 78.9 (C-2), 72.6 (C-3), 38.3 (C-4), 155.8 (C-5), 96.0 (C-6), 151.1 (C-7), 106.4 (C-8), 151.8 (C-9), 106.7 (C-10), 131.8 (C-1'), 116.7 (C-2'), 145.9 (C-3'), 146.3 (C-4'), 115.6 (C-5'), 121.4 (C-6'), 99.9 (C-2''), 67.5 (C-3''), 28.9 (C-4''), 156.8 (C-5''), 98.3 (C-6''), 157.9 (C-7''), 96.5 (C-8''), 154.2 (C-9''), 105.0 (C-10''), 132.5 (C-1'''), 115.7 (C-2'''), 145.5 (C-3'''), 146.6 (C-4'''), 116.1 (C-5'''), 119.9 (C-6'''), 80.3 (C-2'''), 67.2 (C-3'''), 29.9 (C-4'''), 156.0 (C-5'''), 96.4 (C-6'''), 155.6 (C-7'''), 108.9 (C-8'''), 155.8 (C-9'''), 100.0 (C-10'''), 133.2 (C-1'''), 115.5 (C-2'''), 145.3 (C-3'''), 145.8 (C-4'''), 116.0 (C-5'''), 119.4 (C-6''')。以上数据与文献报道基本一致^[24], 故鉴定化合物 **15** 为桂皮鞣质 B1。

4 体外抗补体活性评价

以 CH_{50} 为评价指标, 对分离得到的黄酮类化合物 **1**、**3**、**7**、**8** 进行体外抗补体活性测定。结果显示 (表 2), 4 个化合物都具有一定的抗补体活性, 其中化合物 **7** 活性最强。表明从斜叶黄檀中分离得到的黄酮类化合物体外抗补体活性显著, 提示黄酮类成分可能为斜叶黄檀重要的抗补体活性成分。

表 2 化合物 **1**、**3**、**7**、**8** 抗补体活性结果 ($\bar{x} \pm s, n=3$)

Table 2 Results of anti-complement activity for test compounds **1**, **3**, **7** and **8** ($\bar{x} \pm s, n=3$)

化合物	$CH_{50}/(mg \cdot mL^{-1})$	化合物	$CH_{50}/(mg \cdot mL^{-1})$
1	1.21 ± 0.07	8	0.17 ± 0.04
3	0.57 ± 0.03	肝素钠	0.13 ± 0.02
7	0.12 ± 0.13		

5 讨论

本实验从斜叶黄檀中分离鉴定出 15 个化合物, 含 1 个新化合物及 14 个已知成分, 分别含有黄酮类、萜类、酚酸类、木脂素类化合物, 化合物 **2**~**6**、**8**~**15** 为该植物首次报道。活性评价结果显示, 黄酮类组分中的化合物 **3**、**7**、**8** 体外抗补体活性突出, 化合物 **1** 具有一定的抗补体活性。本研究丰富了该植物的化学资源, 同时验证了斜叶黄檀中黄酮类化合物的体外抗补体作用, 为其开发利用奠定基础, 为后续开展药理机制与构效关系研究提供了思路。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 黄燮才. 广西民族药简编 [M]. 南宁: 广西壮族自治区卫生局药品检验所, 1980: 126.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第四十卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 112-113.
- [3] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草 (第4卷) [M]. 上海: 科学技术出版社, 1999: 3107.
- [4] 何欢, 王维玉, 朱敏, 等. 壮药斜叶黄檀中黄酮类成分研究 [J]. 中药材, 2023, 46(1): 106-110.
- [5] 覃川娴, 丘君凤, 黄清霞, 等. 斜叶黄檀薄层鉴别方法的建立 [J]. 壮瑶药研究, 2023(3): 92-96.
- [6] 李浩杰. 斜叶黄檀结香木的识别特征及等级划分 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2023.
- [7] 梁居红, 杜丽敏, 麦有专, 等. 海南霸王岭的斜叶檀野生资源调查 [J]. 热带林业, 2015, 43(3): 34-35.
- [8] 苏妙铃, 杨健妮, 周秀娟, 等. 斜叶黄檀心材精油成分的 GC-MS 分析 [J]. 广东化工, 2020, 47(5): 14-17.
- [9] 鲁轮, 赵维波, 于兵兵, 等. 不同产地斜叶檀挥发油成分的比较分析研究 [J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(3): 299-304.
- [10] 张姣, 德吉, 付爱玲, 等. 密枝圆柏的化学成分及其抗补体、抗氧化活性 [J]. 中草药, 2019, 50(13): 3008-3016.
- [11] 张贵杰, 李宁, 熊元君, 等. 骆驼刺的化学成分研究 [J]. 中国药理学杂志, 2009, 44(12): 897-899.
- [12] Zhao X B, Mei W L, Gong M F, et al. Antibacterial activity of the flavonoids from *Dalbergia odorifera* on *Ralstonia solanacearum* [J]. *Molecules*, 2011, 16(12): 9775-9782.
- [13] 李江, 李葵, 穆淑珍, 等. 黔产昆明山海棠化学成分及其抑菌活性研究 [J]. 广西植物, 2019, 39(11): 1505-1511.
- [14] 李汉芬, 秦诗慧, 周泽琴, 等. 大苞鞘石斛酚类化学成分研究 [J]. 中草药, 2024, 55(3): 711-719.
- [15] 徐志贫, 王彦志, 郭燕, 等. 牛膝地上部位化学成分的分离鉴定 [J]. 国际药学研究杂志, 2020, 47(6): 450-455.
- [16] 缪丽兰, 陈孝礼, 江文婧, 等. 刺槐根化学成分的研究 [J]. 中成药, 2023, 45(9): 2929-2933.
- [17] 姜李红, 张胜男, 龚桂芬, 等. 鬼针草化学成分及 α -葡萄糖苷酶抑制活性研究 [J]. 中南药学, 2022, 20(12): 2740-2746.
- [18] 曾发古, 苏倩. 油茶果壳乙酸乙酯部位化学成分的研究 [J]. 山东化工, 2023, 52(23): 55-57.
- [19] 曾雨娴, 廖广凤, 李金玲, 等. 毛茛龙化学成分及其细胞毒活性研究 [J]. 广西植物, 2024, 44(6): 1195-1204.
- [20] Ban N K, Truong L H, Linh T M, et al. Phenolic compounds from *Trigonostemon honbaensis* and their cytotoxic activity [J]. *Vietnam J Chem*, 2020, 58(6): 759-764.
- [21] 潘兰, 贾新岳, 贾晓光, 等. 狭叶锦鸡儿根化学成分研究 [J]. 国际药学研究杂志, 2020, 47(12): 1152-1157.
- [22] 刘健, 肖朝江, 崔淑君, 等. 匙萼金丝桃化学成分及镇痛与抗疟活性研究 [J]. 中国药理学杂志, 2019, 54(8): 614-619.
- [23] 杜伟东, 吴蓓, 李志峰, 等. 小花清风藤化学成分的分离与鉴定 (II) [J]. 中草药, 2019, 50(18): 4277-4280.
- [24] 张朝凤. 乌药与鼎湖钓樟的化学成分及抗 HIV-1 整合酶活性研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2002.

[责任编辑 王文倩]