

• 化学成分 •

毛鸡骨草中 1 个新的二氢查耳酮

黄志琼¹, 韩 珊², 王琴琴², 陈道峰^{1,3}, 杨世林^{1,2}, 苑仁祎坤¹, 高红伟¹, 潘其明^{1*}, 黄莉婷^{1*}

1. 广西中医药大学药学院, 广西 南宁 530200

2. 江西中医药大学, 江西 南昌 330000

3. 复旦大学药学院, 上海 200000

摘要: 目的 研究毛相思子 *Abrus mollis* 去除荚果后的干燥全草(毛鸡骨草)的化学成分及其体外抗炎活性。方法 综合运用硅胶、ODS 反相柱色谱和半制备高效液相色谱等方法进行分离纯化, 根据高分辨质谱, 核磁共振波谱数据以及与文献对比进行结构鉴定, 通过电子圆二色谱(electronic circular dichroism, ECD)数据分析确定化合物 **1** 和 **2** 的绝对构型。采用 Griess 法测定化合物对脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)诱导的小鼠 RAW264.7 巨噬细胞产生一氧化氮(NO)的抑制活性。结果 从毛鸡骨草甲醇提取物中分离得到 12 个化合物, 分别鉴定为 (αR)- $\alpha,4,2',4'$ -四羟基-3-甲氧基二氢查耳酮(**1**)、(αR)- $\alpha,4,2',4'$ -tetrahydroxydihydrochalcone (**2**)、(+)-甘草素(**3**)、mucunone C (**4**)、(+)-medicarpin (**5**)、abrusprecatin A (**6**)、7,4'-dihydroxy-8-methoxyisoflavone (**7**)、7,3'-dihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone (**8**)、7,3'-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone (**9**)、alopecuroides A (**10**)、hypaphorine (**11**)、7,8-二甲苯基蝶啶-2,4-(1*H*,3*H*)-二酮(**12**)。化合物 **3**、**4**、**7** 和 **10** 对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞 NO 生成有抑制作用, 半数抑制浓度(median inhibition concentration, IC₅₀)值为 7.39~20.09 $\mu\text{mol/L}$, 其中化合物 **7** 对 NO 生成的抑制活性相对较好, IC₅₀ 值为 7.39 $\mu\text{mol/L}$ 。结论 化合物 **1** 为 1 个新的二氢查耳酮, 命名为毛鸡骨草素; 化合物 **2** 和 **10** 为首次从相思子属植物中分离得到。化合物 **3**、**4**、**7** 和 **10** 具有潜在的抗炎活性。

关键词: 毛鸡骨草; 毛鸡骨草素; 二氢查耳酮; (+)-甘草素; 异黄酮; 抗炎

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)12-3935-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.12.001

A new dihydrochalcone from *Abrus mollis*HUANG Zhiqiong¹, HAN Shan², WANG Qinqin², CHEN Daofeng^{1,3}, YANG Shilin^{1,2}, YUAN Renyikun¹, GAO Hongwei¹, PAN Qiming¹, HUANG Liting¹

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

2. Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, Nanchang 330000, China

3. School of Pharmacy, Fudan University, Shanghai 200000, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents of Maojigucuo (*Abrus mollis* Hance) and their anti-inflammatory activities. **Methods** The chemical constituents were isolated and purified by silica gel, ODS reversed-phase column chromatography, as well as semi-preparative RP-HPLC. Their structures were established by HR-ESI-MS, NMR data analyses and literature data comparison. The absolute configurations of compounds **1** and **2** were determined based on ECD data analyses. The inhibitory effects of all compounds against nitric oxide (NO) production in lipopolysaccharide (LPS)-induced mouse RAW264.7 macrophage cells were evaluated by Griess assay. **Results** A total of 12 compounds were isolated from the methanol extract of *A. mollis*, their structures were identified as (αR)- $\alpha,4,2',4'$ -tetrahydroxy-3-methoxydihydrochalcone (**1**), (αR)- $\alpha,4,2',4'$ -tetrahydroxy- dihydrochalcone (**2**), (+)-liquiritigenin (**3**), mucunone C (**4**), (+)-medicarpin (**5**), abrusprecatin A (**6**), 7,4'-dihydroxy-8-methoxyisoflavone (**7**), 7,3'-dihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone (**8**), 7,3'-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone (**9**), alopecuroides A (**10**), hypaphorine (**11**), 7,8-dimethylbenzo[g]pteridine-2,4-(1*H*,3*H*)-dione (**12**). Compounds **3**, **4**, **7** and **10** exerted inhibitory effects on NO production with IC₅₀

收稿日期: 2024-02-27

基金项目: 广西中医药大学-柳药集团青年科技创新能力提升计划专项(YXY0000305); 国家自然科学基金委区域联合基金重点项目(U23A20521)

作者简介: 黄志琼, 女, 硕士研究生, 研究方向为天然药物活性成分筛选。E-mail: hxx030304@163.com

*通信作者: 潘其明, 博士, 讲师, 研究方向为天然药物的化学成分研究。E-mail: qmingpan@163.com

黄莉婷, 研究方向为中药学。E-mail: huangliting2007happy@126.com

values ranging from 7.39 to 20.09 $\mu\text{mol/L}$ in LPS-stimulated RAW264.7 cells, of which compound **7** had the best inhibitory activity of 7.39 $\mu\text{mol/L}$. **Conclusion** Compound **1** was a new dihydrochalcone, named as abrusin M, and compounds **2** and **10** were isolated from *Abrus* genus for the first time. Compounds **3**, **4**, **7** and **10** exhibited potential anti-inflammatory activities.

Key words: *Abrus mollis* Hance; abrusin M; dihydrochalcone; (+)-liquiritigenin; isoflavone; anti-inflammation

毛鸡骨草又名蜻蜓藤、油甘藤，为豆科 (Leguminosae) 相思子属 *Abrus* Adans. 植物毛相思子 *Abrus mollis* Hance 去除荚果后的干燥全草，生长于海拔 200~1700 m 的山谷、路旁疏林、灌丛中，在我国主要分布于广西、广东、福建等地^[1]。其味甘，性凉，具有舒肝止痛、清热利湿、活血散瘀等功效，用于治疗急慢性肝炎、肝硬化腹水、咽喉肿痛等症。如用于急、慢性肝炎和胆囊炎属肝胆湿热证者的中成药鸡骨草胶囊就是以毛鸡骨草为主要成分^[2-3]。毛鸡骨草主要含有黄酮、生物碱等化学成分^[4-10]，具有保肝、抗炎、抗氧化等药理活性^[11-16]。在两广地区毛鸡骨草较普遍地被用作《中国药典》2020 年版收载品种鸡骨草 *A. cantoniensis* Hance 的替代品，用于治疗肝炎和保健食疗。目前对毛鸡骨草的研究相对鸡骨草较少，为了进一步探究毛鸡骨草的化学成分及生物活性，本实验对毛鸡骨草进行了研究，从中分离得到 12 个化合物，分别鉴定为 (αR)- $\alpha,4,2',4'$ -四羟基-3-甲氧基二氢查耳酮 [(αR)- $\alpha,4,2',4'$ -tetrahydroxy-3-methoxy-dihydrochalcone, **1**]、(αR)- $\alpha,4,2',4'$ -tetrahydroxy-dihydrochalcone (**2**)、(+)-甘草素 [(+)-liquiritigenin, **3**]、mucunone C (**4**)、(+)-medicarpin (**5**)、abrusprecatin A (**6**)、7,4'-dihydroxy-8-methoxyisoflavone (**7**)、7,3'-dihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone (**8**)、7,3'-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone (**9**)、alopecuroides A (**10**)、hypaphorine (**11**)、7,8-二甲苯基蝶啶-2,4-(1*H*,3*H*)-二酮 (7,8-dimethyl-benzo[g]pteridine-2,4-(1*H*,3*H*)-dione, **12**)。其中化合物 **1** 为新化合物 (图 1)，命名为毛鸡骨草素 (abrusin M)；化合物 **2** 和 **10** 为首次从相思子属植物中分离得到。化合物 **3**、**4**、**7** 和 **10** 具有潜在的抗炎活性。

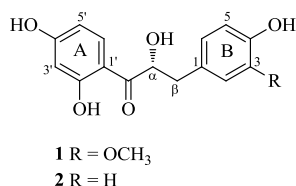


图 1 化合物 **1** 和 **2** 的化学结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds **1** and **2**

1 仪器与材料

NCCQ-300 型全自动切药机 (杭州金竺机械有限公司); SL-1000 型渗漉罐 (温州中核机械有限公司); DN-1000 型真空减压浓缩罐 (湖南润祥机械科技有限公司); RE-50 型防爆旋转蒸发仪 (巩义市京华仪器有限公司); WZZ-3 型自动旋光仪 (上海仪电物理光学仪器有限公司); UV-5500PC 型紫外光谱仪 (上海元析仪器有限公司); Spectrum Two FT-IR Spectrometer/DTGS 红外光谱仪 (美国 PerkinElmer 公司); AVANCE III 500 MHz 核磁共振仪 (德国 Bruker 公司); Waters G2-XS 飞行时间质谱仪 (美国 Waters 公司); HT7200S 型中压制备色谱仪 (苏州本草天成生物技术有限公司); Waters e2695 分析型高效液相色谱仪 (美国 Waters 公司); Shimadzu LC-20AD XR 高效液相色谱仪输液泵, SPD-20A 型紫外检测器 (日本岛津公司); SYNERGYH1 型多功能微孔板检测仪 (美国伯腾仪器公司); XBridge BEH C₁₈ (150 mm×10 mm, 10 μm) 色谱柱 (美国 Waters 公司); 柱色谱硅胶 (100~200、200~300 目, 青岛海洋化工有限公司); 硅胶 G 薄层色谱板 (青岛海洋化工有限公司); Milli-Q IQ 7000 型超纯水仪 (美国 Millipore 公司); 色谱纯甲醇、乙腈 (美国 Thermo Fisher 科技有限公司); 地塞米松磷酸钠注射液 (辰欣药业股份有限公司, 批号 N24030711); Griess、脂多糖 (Lipopolysaccharide, LPS)、MTT 试剂 (美国 Sigma-Aldrich 公司)。

毛鸡骨草于 2022 年 3 月采购于广西宾阳县，经广西中医药大学黄荣韶教授鉴定为豆科相思子属植物毛相思子 *A. mollis* Hance 的干燥全草。样本 (20220315) 保存于广西中医药大学科学实验中心。

RAW264.7 细胞 (中国科学院上海生科院细胞资源中心)。

2 方法

2.1 提取与分离

干燥毛鸡骨草全草 100.0 kg，摘去豆荚，粉碎，15 倍量纯甲醇渗漉提取，所得提取液减压浓缩，得到浸膏 4.5 kg，加水混悬，用石油醚萃取，脱脂后的水相用 1.0 mol/L HCl 调节 pH 值 2~3，再依次用

醋酸乙酯、正丁醇萃取 3 次, 分别减压浓缩得到石油醚萃取物 580.0 g、醋酸乙酯萃取物 390.0 g、正丁醇萃取物 A 1.5 kg; 萃取后的酸水液用 1.0 mol/L NaOH 调节 pH 值 9~10, 再依次用二氯甲烷和正丁醇萃取, 得到生物碱部位(二氯甲烷萃取物 16.0 g、正丁醇萃取物 B 11.0 g)。醋酸乙酯萃取物经正相硅胶柱色谱(200~300 目), 依次以石油醚-醋酸乙酯体系(12:1、8:1、5:1、3:1)和二氯甲烷-甲醇体系(12:1、8:1、6:1、4:1、0:1)梯度洗脱, 共得到 165 个流分, HPLC、TLC 分析合并相同流分后得到 14 个流分(Frs. S1~S14)。Fr. S5 (6.5 g) 经中压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(37:64→100:0, 20.0 mL/min) 梯度洗脱, 经 HPLC 分析合并, 得到 65 个流分(Frs. S5-1~S5-65), Fr. S5-54 (380.0 mg) 经正相硅胶柱色谱(100~200 目), 依次以石油醚-醋酸乙酯体系(12:1、8:1、3:1、0:1) 梯度洗脱, 得到 35 个流分(Frs. S5-54-1~S5-54-35), Fr. S5-54-29 (48.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 甲醇-水(40:60, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到化合物 5 (7.0 mg, $t_R=17.6$ min)。Fr. S9 (130.0 g) 经正相硅胶柱色谱(100~200 目), 依次以二氯甲烷-甲醇体系(60:1、30:1、15:1、8:1、0:1) 梯度洗脱, 得到 34 个流分(Frs. S9-1~S9-34), 其中 Fr. S9-6 (11.0 g) 经中压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(30:60→100:0, 10.0 mL/min) 梯度洗脱, 得到 40 个流分(Frs. S9-6-1~S9-6-40), 其中 Fr. S9-6-13 (70.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 甲醇-水(40:60, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到 12 (10.5 mg, $t_R=23.1$ min)。Fr. S9-6-17 (800.0 mg) 经中压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(35:60→100:0, 10.0 mL/min) 梯度洗脱, 得到 8 个流分(Frs. S9-6-17-1~S9-6-17-8), 其中 Fr. S9-6-17-3 (45.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 甲醇-水(45:65, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到化合物 9 (6.0 mg, $t_R=22.3$ min)。Fr. S9-6-22 (158.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 甲醇-水(65:35, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到化合物 8 (8.0 mg, $t_R=18.2$ min)。Fr. S9-6-37 (75.0 mg) 经反复重结晶得到化合物 10 (13.0 mg)。Fr. S9-7 (17.0 g) 经中压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(45:55→100:0, 30.0 mL/min) 梯度洗脱, 得到 24 个流分(Fr. S9-7-1~S9-7-24), 其中 Fr. S9-7-15 (48.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 甲醇-水(58:42, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到化合物 7 (12.0 mg, $t_R=17.8$ min)。Fr. S10 (16.0 g) 经中

压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(43:57→100:0, 15.0 mL/min) 梯度洗脱, 得到 28 个流分(Frs. S10-1~S10-28), Fr. S10-1 (4.6 g) 经中压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(28:72→100:0, 10.0 mL/min) 梯度洗脱, 得到 51 个流分(Frs. S10-1-1~S10-1-51), Fr. S10-1-26 (55.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 乙腈-水(17:83, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到化合物 2 (7.0 mg, $t_R=38.3$ min)、1 (5.0 mg, $t_R=43.1$ min) 和 4 (8.0 mg, $t_R=49.2$ min)。Fr. S10-1-31 (98.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 甲醇-水(40:60, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到化合物 3 (12.0 mg, $t_R=22.4$ min)。Fr. S10-6 (210.0 mg) 经中压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(25:75→100:0, 10.0 mL/min) 梯度洗脱, 得到 12 个流分(Frs. S10-6-1~S10-6-12), 其中 Fr. S10-6-7 (80.0 mg) 经半制备高效液相色谱, 乙腈-水(28:72, 2.0 mL/min) 等度洗脱得到化合物 6 (7.0 mg, $t_R=25.3$ min)。正丁醇萃取物 B (11.0 g) 经中压 ODS 柱色谱, 甲醇-水(15:85→100:0, 50.0 mL/min) 梯度洗脱, 得到 62 个流分(Frs. NB1~NB62), 其中 Fr. NB10 (30.0 mg) 经 HPLC、TLC 分析确定为化合物 11 (11.0 mg)。

2.2 抗炎活性研究

2.2.1 MTT 法检测药物对 RAW264.7 细胞活力的影响 采用 MTT 比色法检测化合物 1~12 对 RAW264.7 细胞活性的影响。于 96 孔板中接种 RAW264.7 细胞, 细胞贴壁后弃去孔内培养基, 分为对照组和实验组(加入 20 μ mol/L 的化合物), 置于 37 $^{\circ}$ C、5% CO₂ 培养箱中培养 24 h, 加入 10 μ L MTT 试剂, 继续培养 4 h, 弃去上清液, 每孔加入 100 μ L DMSO 振荡 15 min, 用酶标仪检测 570 nm 波长下的吸光度(A)值, 计算细胞存活率。

$$\text{细胞存活率} = 1 - A_{\text{给药}} / A_{\text{对照}}$$

2.2.2 单体化合物对 RAW264.7 细胞释放 NO 的测试 采用 Griess 试剂法检测化合物 1~12 对 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞释放 NO 的影响。将 RAW264.7 细胞以约 2×10^5 个/孔密度接种于 96 孔板中培养 24 h, 弃去上清液, 分为对照组、模型组(LPS)、阳性对照组、给药组, 预处理 1 h 后模型组和给药组均加入 LPS (终质量浓度为 1 μ g/mL) 诱导, 继续培养 24 h 后, 各组吸取上清液 100 μ L, 加入 100 μ L Griess 试剂, 继续培养 30 min 后, 用酶标仪检测 570 nm 波长下的 A 值, 计算 NO 释放率。

$$\text{NO 释放率} = (A_{\text{模型}} - A_{\text{实验}}) / (A_{\text{模型}} - A_{\text{对照}})$$

3 结果

3.1 结构鉴定

化合物 **1**: 淡黄色无定型粉末, $[\alpha]_D^{25} +64.59$ (c 0.12, MeOH); HR-ESI-MS 显示阳离子准分子离子峰 m/z : 327.084 6 $[M + Na]^+$ (计算值 327.083 9, $C_{16}H_{16}O_6Na$), 确定其分子式为 $C_{16}H_{16}O_6$ 。IR 提示结构中含有羟基 ($3\ 372\ cm^{-1}$)、螯合羰基 ($1\ 633\ cm^{-1}$) 和苯环 ($1\ 516$ 、 $1\ 450\ cm^{-1}$) 官能团。UV 显示二氢查耳酮结构特征吸收 204、218、230、281、316 nm^[17]。

1H -NMR 谱 (表 1) 显示 2 组 ABX 偶合芳香质子信号, 分别为 δ_H 7.68 (1H, d, $J=8.9$ Hz, H-6'), 6.34 (1H, dd, $J=8.9$, 2.4 Hz, H-5'), 6.27 (1H, d, $J=2.4$ Hz, H-3') 和 δ_H 6.70 (1H, d, $J=1.8$ Hz, H-2), 6.67 (1H, d, $J=8.0$ Hz, H-5), 6.62 (1H, dd, $J=8.0$, 1.8 Hz, H-6), 提示化合物 **1** 结构中存在 2 个 1,2,4-三取代苯环结构; 1 组 ABX 偶合脂肪质子信号 δ_H 5.18 (1H, dd, $J=7.2$, 5.1 Hz, H- α), 3.01 (1H, dd, $J=13.9$, 5.1 Hz, H- β_a), 2.88 (1H, dd, $J=13.9$, 7.2 Hz, H- β_b); 以及 1 个甲氧基质子信号 δ_H 3.76 (3H, s, 3-OCH₃)。

^{13}C -NMR 结合 DEPT 谱 (表 1) 显示该化合物有 16 个碳信号, 包括 1 个羰基碳信号 (δ_C 205.1), 12 个芳香碳信号, 1 个连氧次甲基碳信号 (δ_C 74.3), 1 个亚甲基碳信号 (δ_C 42.7) 和 1 个甲氧基碳信号

(δ_C 56.2)。上述信息亦提示化合物 **1** 为二氢查耳酮类化合物。通过与文献对比, 发现化合物 **1** 与化合物 **2**^[18]的 1H -和 ^{13}C -NMR 数据 (表 1) 非常相似。而两者明显的区别是化合物 **1** 比 **2** 多了 1 个甲氧基信号。HMBC 谱中 (图 2), 芳香质子信号 δ_H 6.70 (H-2), 6.62 (H-6) 与 δ_C 42.7 (C- β), 146.2 (C-4), δ_H 6.67 (H-5) 与 δ_C 129.8 (C-1), 148.7 (C-3), 以及甲氧基质子信号 δ_H 3.76 与 δ_C 148.7 (C-3) 分别有远程相关, 提示甲氧基位于二氢查耳酮 B 环的 C-3 位。ROESY 谱中 δ_H 6.70 (H-2) 与 δ_H 3.76 (3-OCH₃) 的相关, 进一步确证了甲氧基取代在 C-3 位。化合物 **1** 的电子圆二色谱 (electronic circular dichroism, ECD) 在 320 nm 处显示负的 Cotton 效应, 在 280 nm 处显示正的 Cotton 效应 (图 3), 表明 C- α 的绝对构型为 *R* 构型^[17,19]。为使绝对构型的确定更加可靠, 进一步采用时间依赖密度泛函理论 (TD-DFT) 在 [B3LYP/6-31G(d), MeOH] 水平上进行 ECD 的理论计算。通过模拟计算, 当 C- α 位为 *R* 构型时, 化合物 **1** 的理论计算 ECD 与实验 ECD 较为一致 (图 3), 从而进一步确证化合物 **1** 的绝对构型为 αR 。因此, 化合物 **1** 鉴定为 (+)-(αR)- $\alpha,4,2',4'$ -四羟基-3-甲氧基二氢查耳酮, 为新化合物, 命名为毛鸡骨草素 (abrusin M)。

表 1 化合物 **1** 和 **2** 的 1H -NMR 和 ^{13}C -NMR 数据 (500/125 MHz, CD₃OD)
Table 1 1H -NMR and ^{13}C -NMR data of compounds **1** and **2** (500/125 MHz, CD₃OD)

碳位	1		2	
	δ_C	δ_H	δ_C	δ_H
C=O	205.1		205.1	
α	74.3 (CH)	5.18 (1H, dd, $J=7.2$, 5.1 Hz)	74.4 (CH)	5.14 (1H, dd, $J=7.6$, 4.9 Hz)
β	42.7 (CH ₂)	3.01 (1H, dd, $J=13.9$, 5.1 Hz) 2.88 (1H, dd, $J=13.9$, 7.2 Hz)	42.2 (CH ₂)	3.01 (1H, dd, $J=14.0$, 4.9 Hz) 2.83 (1H, dd, $J=14.0$, 7.6 Hz)
1	129.8 (C)		129.3 (C)	
2	114.2 (CH)	6.70 (1H, d, $J=1.8$ Hz)	131.5 (CH)	7.01 (1H, d, $J=8.5$ Hz)
3	148.7 (C)		116.1 (CH)	6.66 (1H, d, $J=8.5$ Hz)
4	146.2 (C)		157.1 (C)	
5	116.0 (CH)	6.67 (1H, d, $J=8.0$ Hz)	116.1 (CH)	6.66 (1H, d, $J=8.5$ Hz)
6	123.1 (CH)	6.62 (1H, dd, $J=8.0$, 1.8 Hz)	131.5 (CH)	7.01 (1H, d, $J=8.5$ Hz)
1'	112.4 (C)		112.2 (C)	
2'	166.8 (C)		166.8 (C)	
3'	103.8 (CH)	6.27 (1H, d, $J=2.4$ Hz)	103.8 (CH)	6.27 (1H, d, $J=2.4$ Hz)
4'	166.7 (C)		166.8 (C)	
5'	109.4 (CH)	6.34 (1H, dd, $J=8.9$, 2.4 Hz)	109.4 (CH)	6.35 (1H, dd, $J=8.9$, 2.4 Hz)
6'	133.6 (CH)	7.68 (1H, d, $J=8.9$ Hz)	133.6 (CH)	7.69 (1H, d, $J=8.9$ Hz)
3-OCH ₃	56.2 (CH ₃)	3.76 (3H, s)		

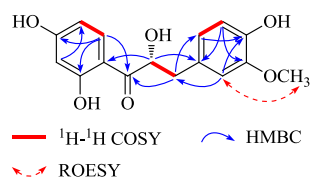


图 2 化合物 1 的 ^1H - ^1H COSY、关键 HMBC 和关键 ROESY 相关

Fig. 2 ^1H - ^1H COSY, key HMBC and key ROESY correlations of compound 1

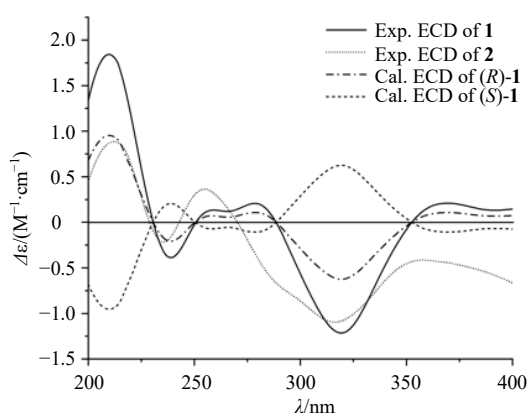


图 3 化合物 1 和 2 的实验 ECD 谱图和化合物 1 的计算 ECD 谱图

Fig. 3 Experimental ECD spectra of compounds 1 and 2 and calculated ECD spectra of compound 1

化合物 2: 淡黄色粉末, $[\alpha]_{\text{D}}^{25} -26.48$ (c 0.20, MeOH); HR-ESI-MS m/z : 297.074 1 $[\text{M}+\text{Na}]^+$, 分子式为 $\text{C}_{15}\text{H}_{14}\text{O}_5$; ^1H -NMR (500 MHz, Acetone- d_6) δ : 7.90 (1H, d, $J = 8.9$ Hz, H-6'), 7.05 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-2, 6), 6.71 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-3, 5), 6.47 (1H, dd, $J = 8.9, 2.1$ Hz, H-5'), 6.36 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-3'), 5.16 (1H, dd, $J = 7.6, 4.6$ Hz, H- α), 3.05 (1H, dd, $J = 14.0, 4.6$ Hz, H- β a), 2.84 (1H, dd, $J = 14.0, 7.6$ Hz, H- β b); ^{13}C -NMR (125 MHz, Acetone- d_6) δ : 205.0 (C=O), 166.4 (C-4'), 166.1 (C-2'), 156.8 (C-4), 133.7 (C-6'), 131.3 (C-2, 6), 128.9 (C-1), 115.7 (C-3, 5), 111.6 (C-1'), 109.1 (C-5'), 103.6 (C-3'), 74.0 (C- α), 41.9 (C- β)。以上数据与文献报道一致^[20], 化合物 2 与 1 的结构非常相似, 且均只含有 C- α 这一个控制 Cotton 效应的手性碳, 化合物 2 的 ECD 曲线与 1 吻合较好 (图 3), 表明化合物 2 的 C- α 位绝对构型与化合物 1 相同, 也为 R 构型。因此鉴定化合物 2 为 (α R)- $\alpha,4,2',4'$ -tetrahydroxydihydrochalcone。

化合物 3: 淡黄色粉末, $[\alpha]_{\text{D}}^{25} +17.61$ (c 0.28,

MeOH); HR-ESI-MS m/z : 257.081 0 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 分子式为 $\text{C}_{15}\text{H}_{12}\text{O}_4$; ^1H -NMR (500 MHz, CD_3OD) δ : 7.71 (1H, d, $J = 8.7$ Hz, H-5), 7.31 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-2', 6'), 6.81 (2H, d, $J = 8.6$ Hz, H-3', 5'), 6.49 (1H, dd, $J = 8.7, 2.2$ Hz, H-6), 6.35 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-8), 5.36 (1H, dd, $J = 13.1, 2.9$ Hz, H-2), 3.05 (1H, dd, $J = 16.9, 13.1$ Hz, H-3a), 2.68 (1H, dd, $J = 16.9, 2.9$ Hz, H-3b); ^{13}C -NMR (125 MHz, CD_3OD) δ : 193.6 (C-4), 166.8 (C-7), 165.6 (C-9), 158.9 (C-4'), 131.3 (C-1'), 129.9 (C-5), 129.0 (C-2', 6'), 116.3 (C-3', 5'), 114.9 (C-10), 111.8 (C-6), 103.8 (C-8), 81.0 (C-2), 44.9 (C-3)。以上数据与文献报道一致^[21], 因此鉴定化合物 3 为 (+)-甘草素。

化合物 4: 淡黄色粉末, $[\alpha]_{\text{D}}^{25} +47.14$ (c 0.23, MeOH); HR-ESI-MS m/z : 309.073 9 $[\text{M}+\text{Na}]^+$, 分子式为 $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_5$; ^1H -NMR (500 MHz, CD_3OD) δ : 7.53 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-5), 7.08 (2H, d, $J = 8.5$ Hz, H-2', 6'), 6.74 (2H, d, $J = 8.5$ Hz, H-3', 5'), 6.57 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-6), 4.64 (2H, m, H-2), 3.87 (1H, dd, $J = 8.0, 5.5$ Hz, H-3), 3.82 (3H, s, 8-OCH₃); ^{13}C -NMR (125 MHz, CD_3OD) δ : 194.1 (C-4), 158.7 (C-7), 158.0 (C-4'), 157.7 (C-9), 136.4 (C-8), 130.8 (C-2', 6'), 127.8 (C-1'), 124.5 (C-5), 116.5 (C-3', 5'), 116.2 (C-10), 111.7 (C-6), 73.5 (C-2), 61.3 (8-OCH₃), 52.4 (C-3)。以上数据与文献报道一致^[22], 因此鉴定化合物 4 为 mucunone C。

化合物 5: 黄色油状物, $[\alpha]_{\text{D}}^{25} +174.93$ (c 0.10, MeOH); HR-ESI-MS m/z : 271.096 3 $[\text{M}+\text{H}]^+$, $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_4$; ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 7.38 (1H, d, $J = 8.3$ Hz, H-1), 7.13 (1H, d, $J = 8.8$ Hz, H-7), 6.56 (1H, dd, $J = 8.4, 2.3$ Hz, H-2), 6.45 (1H, d, $J = 8.8, 2.1$ Hz, H-8), 6.44 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-10), 6.42 (1H, d, $J = 2.3$ Hz, H-4), 5.49 (1H, d, $J = 6.8$ Hz, H-11a), 4.23 (1H, dd, $J = 10.8, 4.5$ Hz, H-6 β), 3.76 (3H, s, 9-OCH₃), 3.61 (1H, t, $J = 11.0$ Hz, H-6 α), 3.52 (1H, m, H-6a); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 161.0 (C-9), 160.6 (C-10a), 157.3 (C-4a), 156.6 (C-3), 132.1 (C-1), 124.7 (C-7), 119.1 (C-6b), 112.3 (C-11b), 109.8 (C-2), 106.3 (C-8), 103.6 (C-4), 96.9 (C-10), 78.6 (C-11a), 66.5 (C-6), 55.5 (9-OCH₃), 39.4 (C-6a)。以上数据与文献报道一致^[23], 因此鉴定化合物 5 为 (+)-medicarpin。

化合物 6: 黄色粉末, $[\alpha]_{\text{D}}^{25} -140.5$ (c 0.20, MeOH); HR-ESI-MS m/z : 339.084 5 $[\text{M}+\text{Na}]^+$, 分子

式为 $C_{17}H_{16}O_6$; 1H -NMR (500 MHz, Acetone- d_6) δ : 6.93 (1H, s, H-1), 6.76 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-7), 6.49 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-8), 6.46 (1H, s, H-4), 5.45 (1H, d, J = 6.3 Hz, H-11a), 4.22 (1H, m, H-6 α), 3.81 (3H, s, 3-OCH₃), 3.78 (3H, s, 9-OCH₃), 3.56 (2H, m, H-6a, 6 β); ^{13}C -NMR (125 MHz, Acetone- d_6) δ : 149.9 (C-4a), 149.7 (C-3, 9), 147.8 (C-10a), 142.0 (C-2), 132.3 (C-10), 122.5 (C-6b), 116.6 (C-1), 115.1 (C-7), 113.0 (C-11b), 105.3 (C-8), 101.1 (C-4), 79.4 (C-11a), 67.2 (C-6), 56.7 (9-OCH₃), 56.1 (3-OCH₃), 41.2 (C-6a)。以上数据与文献报道一致^[24], 因此鉴定化合物 6 为 abrusprecatin A。

化合物 7: 浅黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 307.0577 $[M+Na]^+$, 分子式为 $C_{16}H_{12}O_5$, 1H -NMR (500 MHz, DMSO- d_6) δ : 8.36 (1H, s, H-2), 7.70 (1H, d, J = 8.8 Hz, H-5), 7.37 (2H, d, J = 8.6 Hz, H-2', 6'), 7.01 (1H, d, J = 8.9 Hz, H-6), 6.80 (2H, d, J = 8.6 Hz, H-3', 5'), 3.85 (3H, s, 8-OCH₃); ^{13}C -NMR (125 MHz, DMSO- d_6) δ : 174.9 (C-4), 157.2 (C-4'), 154.8 (C-7), 152.8 (C-2), 150.7 (C-9), 134.7 (C-8), 130.1 (C-2', 6'), 123.3 (C-3), 122.5 (C-1'), 120.8 (C-5), 117.4 (C-10), 115.2 (C-6), 115.0 (C-3', 5'), 60.8 (8-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[25], 因此鉴定化合物 7 为 7,4'-dihydroxy-8-methoxyisoflavone。

化合物 8: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 315.0865 $[M+H]^+$, 分子式为 $C_{17}H_{14}O_6$; 1H -NMR (500 MHz, C_5D_5N) δ : 8.21 (1H, s, H-2), 7.90 (1H, s, H-5), 7.85 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-2'), 7.35 (1H, dd, J = 8.3, 2.1 Hz, H-6'), 7.20 (1H, s, H-8), 7.04 (1H, d, J = 8.3 Hz, H-5'), 3.76 (3H, s, 4'-OCH₃), 3.70 (3H, s, 6-OCH₃); ^{13}C -NMR (125 MHz, C_5D_5N) δ : 175.4 (C-4), 154.5 (C-7), 153.0 (C-9), 152.6 (C-2), 148.6 (C-4'), 148.0 (C-3'), 147.8 (C-6), 126.6 (C-1'), 124.3 (C-3), 120.5 (C-6'), 117.9 (C-2'), 117.5 (C-10), 112.3 (C-5'), 105.6 (C-5), 104.0 (C-8), 55.9 (4'-OCH₃), 55.8 (6-OCH₃)。ROESY 谱中 δ_H 7.90 (H-5) 与 δ_H 3.70 (6-OCH₃), δ_H 7.04 (H-5') 与 δ_H 3.76 (4'-OCH₃) 的相关信号, 表明 2 个甲氧基分别位于 C-6 和 C-4' 位。以上数据与文献报道一致^[26], 因此鉴定化合物 8 为 7,3'-dihydroxy-6,4'-dimethoxyisoflavone。

化合物 9: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 337.0686 $[M+Na]^+$, 分子式为 $C_{17}H_{14}O_6$; 1H -NMR (500 MHz, C_5D_5N) δ : 8.28 (1H, s, H-2), 8.21 (1H, d, J = 8.8 Hz,

H-5), 7.82 (1H, d, J = 2.0 Hz, H-2'), 7.33 (1H, dd, J = 8.3, 2.0 Hz, H-6'), 7.27 (1H, d, J = 8.8 Hz, H-6), 7.04 (1H, d, J = 8.3 Hz, H-5'), 3.95 (3H, s, 8-OCH₃), 3.75 (3H, s, 4'-OCH₃); ^{13}C -NMR (125 MHz, C_5D_5N) δ : 175.7 (C-4), 156.3 (C-7), 152.6 (C-2), 151.7 (C-9), 148.7 (C-4'), 148.0 (C-3'), 135.8 (C-8), 126.1 (C-1'), 124.7 (C-3), 122.0 (C-5), 120.4 (C-6'), 118.8 (C-10), 117.8 (C-2'), 116.1 (C-6), 112.3 (C-5'), 61.1 (8-OCH₃), 55.9 (4'-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[27], 因此鉴定化合物 9 为 7,3'-dihydroxy-8,4'-dimethoxyisoflavone。

化合物 10: 白色针晶 (甲醇), $[\alpha]_D^{25} + 41.77$ (c 0.40, C_5D_5N); HR-ESI-MS m/z : 463.1390 $[M+H]^+$, 分子式为 $C_{26}H_{22}O_8$; 1H -NMR (500 MHz, C_5D_5N) δ : 8.27 (1H, s, H-2), 8.05 (1H, d, J = 8.8 Hz, H-5), 7.79 (2H, d, J = 8.7 Hz, H-2', 6'), 7.43 (1H, brs, H-2''), 7.33 (2H, brs, H-5'', 6''), 7.21 (1H, d, J = 8.8 Hz, H-6), 7.06 (2H, d, J = 8.7 Hz, H-3', 5'), 5.58 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-7''), 4.53 (1H, ddd, J = 8.1, 3.4, 2.0 Hz, H-8''), 4.32 (1H, dd, J = 12.8, 2.0 Hz, H-9'a), 3.97 (1H, dd, J = 12.8, 3.4 Hz, H-9'b), 3.76 (3H, s, 3''-OCH₃), 3.69 (3H, s, 4'-OCH₃); ^{13}C -NMR (125 MHz, C_5D_5N) δ : 175.6 (C-4), 160.0 (C-4'), 152.6 (C-2), 149.1 (C-3''), 148.9 (C-4''), 148.3 (C-7), 146.9 (C-9), 133.0 (C-8), 130.9 (C-2', 6'), 127.6 (C-1''), 125.0 (C-1'), 124.8 (C-3), 121.7 (C-6''), 119.7 (C-10), 117.6 (C-5), 116.7 (C-5''), 115.4 (C-6), 114.2 (C-3', 5'), 112.1 (C-2''), 80.0 (C-8''), 77.7 (C-7''), 61.1 (C-9''), 55.9 (3''-OCH₃), 55.2 (4'-OCH₃)。以上数据与文献报道一致^[28], 因此鉴定化合物 10 为 alopecuroides A。

化合物 11: 白色粉末, HR-ESI-MS m/z : 247.1454 $[M+H]^+$, 分子式为 $C_{14}H_{18}N_2O_2$; 1H -NMR (500 MHz, DMSO- d_6) δ : 10.91 (1H, s, NH), 7.58 (1H, d, J = 7.7 Hz, H-4), 7.32 (1H, d, J = 8.0 Hz, H-7), 7.16 (1H, s, H-2), 7.05 (1H, t, J = 7.4 Hz, H-6), 6.97 (1H, t, J = 7.3 Hz, H-5), 3.68 (1H, overlapped, H-11), 3.25 (1H, dd, J = 14.0, 3.5 Hz, H-10), 3.18 (9H, s, 3 $\times$ -N⁺CH₃); ^{13}C -NMR (125 MHz, DMSO- d_6) δ : 136.2 (C-8), 127.1 (C-9), 124.1 (C-2), 121.1 (C-6), 118.5 (C-4), 118.5 (C-5), 111.5 (C-7), 109.0 (C-3), 78.7 (C-11), 51.3 (3 $\times$ CH₃), 23.2 (C-10)。以上数据与文献报道一致^[29], 因此鉴定化合物 11 为 hypaphorine。

化合物 12: 黄色粉末, HR-ESI-MS m/z : 265.0707

[M+Na]⁺, 分子式为 C₁₂H₁₀N₄O₂; ¹H-NMR (500 MHz, C₅D₅N) δ: 14.17 (1H, brs, H-1), 13.97 (1H, brs, H-3), 8.03 (1H, s, H-9), 7.86 (1H, s, H-6), 2.29 (3H, s, 7-CH₃), 2.23 (3H, s, 8-CH₃); ¹³C-NMR (125 MHz, C₅D₅N) δ: 162.1 (C-2), 151.8 (C-4), 147.7 (C-14), 144.8 (C-11), 143.0 (C-7), 139.8 (C-13), 139.1 (C-8), 131.0 (C-12), 129.7 (C-9), 127.1 (C-6), 20.4 (7-CH₃), 19.8 (8-CH₃)。以上数据与文献报道一致^[30], 因此鉴定化合物 **12** 为 7,8-二甲苯基蝶啶-2,4-(1*H*,3*H*)-二酮。

3.2 抗炎活性筛选

使用 MTT 法检测单体化合物对 RAW264.7 细胞活性的影响, 利用 LPS 诱导刺激小鼠 RAW264.7 巨噬细胞释放 NO 为检测模型, 以地塞米松为阳性对照, 采用 Griess 法对化合物 **1**~**12** 抑制细胞炎症因子 NO 生成进行了测定^[31]。实验结果显示, 与对照组相比, 12 个化合物浓度为 20 μmol/L 时, 细胞存活率均在 90% 以上, 表明 12 个化合物对细胞均无明显毒性; 化合物 **3**、**4**、**7**、**10** 显示出较强的抗炎活性, 在 20 μmol/L 的浓度下, NO 生成抑制率为 64.94%~95.05% (表 2)。在 5、10、15、20 μmol/L 的浓度下, 对 NO 生成抑制活性相对较好化合物的进一步抗炎活性测试得化合物 **3**、**4**、**7**、**10** 的半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 值分别为 (11.30±0.30)、(12.97±0.31)、(7.39±0.36)、(20.09±0.30) μmol/L, 阳性对照药地塞米松的 IC₅₀ 值为 (1.08±0.31) μmol/L。

表 2 化合物 **1**~**12** 的 NO 生成抑制率 ($\bar{x} \pm s, n=3$)
Table 2 Inhibition rate of NO production of compounds **1**~**12** ($\bar{x} \pm s, n=3$)

化合物	浓度/(μmol·L ⁻¹)	NO 生成抑制率/%
1	20	28.57±1.30
2	20	46.40±0.77
3	20	69.44±0.00
4	20	72.14±0.00
5	20	8.85±0.31
6	20	18.61±1.13
7	20	64.94±0.00
8	20	29.00±1.50
9	20	14.09±0.94
10	20	95.05±0.00
11	20	41.56±1.30
12	20	19.05±0.75
地塞米松	10	61.04±6.00

4 讨论

本研究从毛鸡骨草中分离得到 12 个化合物, 其中化合物 **1** 为新化合物, 化合物 **2** 和 **10** 为首次从相思子属植物中分离得到, 并通过 ECD 数据分析首次确定了化合物 **2** 的绝对构型。对所有化合物的体外抗炎活性初步评价表明, 化合物 **3**、**4**、**7** 和 **10** 对 LPS 诱导的 RAW264.7 体外细胞炎症模型中 NO 的生成具有较强的抑制活性, 其中化合物 **7** 的抑制活性最佳。对化合物 **7**~**9** 的构效分析表明, 异黄酮 B 环的 C-3' 位羟基取代不利于抗炎活性。本研究丰富了毛鸡骨草的化学成分和抗炎活性, 为毛鸡骨草在医药、食品等方面的开发利用和安全性评价提供了理论依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国植物志编委. 中国植物志 (第 40 卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 123-126.
- [2] 黄平, 李文静, 何碧婷. 毛鸡骨草药材的 HPLC 指纹图谱 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2014, 20(1): 66-69.
- [3] 肖晓, 姚香草, 余亚茹, 等. 鸡骨草的资源调查与生药学鉴定 [J]. 药实践杂志, 2019, 37(4): 318-321.
- [4] 严倩茹, 郭伟魁. 毛鸡骨草的研究进展 [J]. 药学研究, 2017, 36(11): 671-672.
- [5] Yan W Y, Han Q J, Guo P P, *et al.* Simultaneous detection of flavonoids, phenolic acids and alkaloids in *Abri Herba* and *Abri Mollis Herba* using liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Phytochem Anal*, 2016, 27(1): 50-56.
- [6] Wen J, Shi H M, Tu P F. Chemical constituents of *Abrus mollis* Hance [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2006, 34(2): 177-179.
- [7] Du K C, Li X Y, Zheng C W, *et al.* Three undescribed flavonoids and amide from *Abrus mollis* Hance with hepatoprotective effects [J]. *Chem Biodivers*, 2023, 20(7): e202300696.
- [8] 史海明, 黄志勤, 温晶, 等. 毛鸡骨草中新的异黄酮 [J]. 中国天然药物, 2006, 4(1): 30-31.
- [9] 黄平, 麦秋良, 蒙晓芳. 毛鸡骨草中相思子碱和下箴刺桐碱含量测定 [J]. 现代中药研究与实践, 2010, 24(6): 62-64.
- [10] Yuan X J, Liu Y D, Zhao H, *et al.* The isolation, structure and fragmentation characteristics of natural truxillic and truxinic acid derivatives in *Abrus mollis* leaves [J]. *Phytochemistry*, 2021, 181: 112572.
- [11] 袁旭江, 张平, 李春阳, 等. 毛鸡骨草叶中一个新的吐昔酰胺类成分 [J]. 药学报, 2016, 51(10): 1595-1599.
- [12] 李爱媛, 周芳, 成彩霞. 鸡骨草与毛鸡骨草对急性肝损

- 伤的保护作用 [J]. 云南中医中药杂志, 2006, 27(4): 35-36.
- [13] 陈晓白, 莫志贤, 甘耀坤, 等. 毛鸡骨草对高脂血症模型大鼠血脂和肝脂的影响 [J]. 中国药房, 2010, 21(3): 202-204.
- [14] 陈晓白, 韩余健, 许潘健, 等. 毛鸡骨草体外对 HBs Ag 和 HBe Ag 的抑制作用 [J]. 时珍国医国药, 2009, 20(5): 1083-1084.
- [15] 陈晓白, 王晓平, 韦敏. 毛鸡骨草醇提液对 HepG2.2.15 细胞乙型肝炎表面抗原及乙型肝炎 E 抗原的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2011, 17(22): 184-186.
- [16] Chen M, Wang T, Jiang Z Z, *et al.* Anti-inflammatory and hepatoprotective effects of total flavonoid C-glycosides from *Abrus mollis* extracts [J]. *Chin J Nat Med*, 2014, 12(8): 590-598.
- [17] Alvarez L, Delgado G. C- and O-glycosyl- α -hydroxy-dihydrochalcones from *Eysenhardtia polystachya* [J]. *Phytochemistry*, 1999, 50(4): 681-687.
- [18] 孟晓伟, 赖云飞, 张普照, 等. 粉葛化学成分的研究 [J]. 中成药, 2022, 44(5): 1489-1497.
- [19] Augustyn J A N, Bezuidenhout B C B, Swanepoel A, *et al.* Enantioselective synthesis of flavonoids. Part 2. Poly-oxygenated α -hydroxydihydrochalcones and circular dichroic assessment of their absolute configuration [J]. *Tetrahedron*, 1990, 46(12): 4429-4442.
- [20] Kulesh N I, Vasilevskaya N A, Veselova M V, *et al.* Minor polyphenols from *Maackia amurensis* wood [J]. *Chem Nat Compd*, 2008, 44(6): 712-714.
- [21] 仝永斌, 王文婧, 李国强, 等. 山橙枝叶化学成分研究 [J]. 中药材, 2013, 36(3): 398-401.
- [22] Dendup T, Prachyawarakorn V, Pansanit A, *et al.* α -Glucosidase inhibitory activities of isoflavanones, isoflavones, and pterocarpanes from *Mucuna pruriens* [J]. *Planta Med*, 2014, 80(7): 604-608.
- [23] 文庆, 王宝杰, 高雨秋, 等. 香港鹰爪花枝叶中的化学成分研究 [J]. 中草药, 2019, 50(3): 551-556.
- [24] Li Y, Wu J W, Tan H B, *et al.* Three new pterocarpanes from the aerial parts of *Abrus precatorius* [J]. *Nat Prod Res*, 2020, 34(13): 1836-1844.
- [25] Chiang C M, Ding H Y, Tsai Y T, *et al.* Production of two novel methoxy-isoflavones from biotransformation of 8-hydroxydaidzein by recombinant *Escherichia coli* expressing O-methyltransferase SpOMT2884 from *Streptomyces peucetius* [J]. *Int J Mol Sci*, 2015, 16(11): 27816-27823.
- [26] Januário A H, Lourenço M V, Domézio L A, *et al.* Isolation and structure determination of bioactive isoflavones from callus culture of *Dipteryx odorata* [J]. *Chem Pharm Bull*, 2005, 53(7): 740-742.
- [27] 王伦兴, 吴红果, 张华, 等. 毛果鱼藤中黄酮类化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(15): 3009-3012.
- [28] Zhang Z, Liu G M, Wang Y H, *et al.* A new isoflavanolignan from *Pueraria alopecuroides* Craib [J]. *Chin Chem Lett*, 2007, 18(3): 297-299.
- [29] Luan G X, Tie F F, Yuan Z Z, *et al.* Hypaphorine, an indole alkaloid isolated from *Caragana korshinskii* Kom., inhibites 3T3-L1 adipocyte differentiation and improves insulin sensitivity *in vitro* [J]. *Chem Biodivers*, 2017, doi:10.1002/cbdv.201700038.
- [30] 张伟, 宋启示. 贵州大方林下栽培天麻的化学成分研究 [J]. 中草药, 2010, 41(11): 1782-1785.
- [31] 王琴琴, 韩珊, 李新星, 等. 毛蕊花苷对脂多糖诱导 RAW264.7 细胞炎症模型的作用及其机制研究 [J]. 中草药, 2020, 51(16): 4217-4222.

[责任编辑 王文倩]