

• 化学成分 •

黔产硬毛夏枯草中 1 个新的松香烷型二萜化合物及其抗神经炎活性研究

廖余琼, 张妮, 刘翰飞, 李金玉*, 潘卫东*

中药功效成分发掘与利用全国重点实验室, 贵州医科大学药学院, 贵州省天然产物研究中心, 贵州 贵阳 550014

摘要: 目的 研究黔产硬毛夏枯草 *Prunella vulgaris* subsp. *hispida* 的化学成分及抗神经炎活性。方法 利用多种色谱手段(硅胶、Sephadex LH-20、反相 ODS C₁₈ 柱色谱与 HPLC) 进行提取分离化学成分, 并采用现代波谱学(紫外、红外、高分辨质谱、核磁、电子圆二色谱等) 技术对分离到单体化合物的结构进行鉴定。采用 Griess 法测试脂多糖诱导小鼠小胶质细胞(BV-2 细胞) 释放炎症因子模型, 对化合物进行抗炎神经活性评价。结果 从黔产硬毛夏枯草 95%乙醇提取物中分离并鉴定出 16 个化合物, 分别为 tetrandrine A (1)、薄荷醇 B (2)、水杨酸 (3)、咖啡酸 (4)、布拉克坦内酯 A (5)、咖啡酸乙酯 (6)、原儿茶醛 (7)、对羟基肉桂酸 (8)、3-羟基-4-(4-(2-羟乙基)苯氧基)-苯甲醛 (9)、3,4-二羟基苯甲酸甲酯 (10)、3,4-(3',4'-二羟基苯基)呋喃-2(5H)-酮 (11)、3-(3,4-二羟基苯基)乳酸乙酯 (12)、酪醇 (13)、科鲁乔醇 C (14)、迷迭香酸甲酯 (15)、迷迭香酸乙酯 (16)。抗神经炎实验结果显示, 化合物 1、2、4~6、8、9、12 和 15 均表现出抗神经炎活性, 其中化合物 1、2、6、8 和 15 对 LPS 刺激的 BV-2 细胞 NO 的生成有显著抑制作用, 其半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 为 3.48~9.22 μmol/L。结论 化合物 1 为新的松香烷型二萜, 命名为 tetrandrine A。化合物 1~16 均为首次从硬毛夏枯草中分离得到, 且有 9 个化合物表现出良好的抗神经炎活性。

关键词: 硬毛夏枯草; 咖啡酸乙酯; 迷迭香酸甲酯; 迷迭香酸乙酯; 松香烷型二萜; 抗神经炎活性

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)16-5723-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.16.002

One new abietane diterpenoid from *Prunella vulgaris* subsp. *hispida* produced in Guizhou and its anti-neuroinflammatory activity

LIAO Yuqiong, ZHANG Ni, LIU Hanfei, LI Jinyu, PAN Weidong

State Key Laboratory of Discovery and Utilization of Functional Components in Traditional Chinese Medicine, School of Pharmaceutical Sciences, Natural Products Research Center of Guizhou Province, Guizhou Medical University, Guiyang 550014, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents of *Prunella vulgaris* subsp. *hispida* from Guizhou and their anti-neuroinflammatory activities. **Methods** The chemical components of 95% ethanol extract of *P. vulgaris* subsp. *hispida* was extracted and separated by means of silica gel, Sephadex LH-20, reversed-phase ODS C₁₈ column chromatography and semi-preparative high performance liquid chromatography (HPLC). Then their structures were elucidated by extensive spectroscopic analyses, including ultraviolet (UV), infrared (IR), high-resolution mass spectrometry (HRMS), nuclear magnetic resonance (NMR), and electronic circular dichroism (ECD) methods. All isolates were evaluated for their inhibitory effect on nitric oxide (NO) in lipopolysaccharide (LPS)-stimulated BV-2 cells by Griess method. **Results** A total of 16 compounds were isolated from *P. vulgaris* subsp. *hispida* and identified as tetrandrine A (1), menthol B (2), salicylic acid (3), caffeic acid (4), bracteanolide A (5), ethyl caffeate (6), protocatechualdehyde (7), 4-hydroxycinnamic acid (8), 3-hydroxy-4-(4-(2-hydroxyethyl)phenoxy)-benzaldehyde (9), methyl 3,4-dihydroxybenzoate (10), 3,4-(3',4'-dihydroxyphenyl)furan-2(5H)-one (11), ethyl lactate 3-(3,4-dihydroxyphenyl) (12), tyrosol (13), corchoionol C (14), methyl rosmarinate (15), and ethyl rosmarinate (16). The anti-neuroinflammatory activities showed that Compounds 1, 2, 4-6, 8, 9, 12 and

收稿日期: 2025-05-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32160102); 国家自然科学基金项目 (32460112); 贵州省中医药管理局中医药、民族医药科学技术课题研究资助 (QZY-2025-064); 贵州省科技计划项目 (黔科合基础 MS(2025)122); 博士启动经费资助 (天产自 J 字[2025]8 号)

作者简介: 廖余琼 (2000—), 女, 贵州铜仁人, 硕士研究生, 主要从事天然药物化学方面的研究。E-mail: 2960556569@qq.com

*通信作者: 李金玉, 女, 副研究员, 主要从事中药民族药用植物的化学成分与生物活性研究。E-mail: lijinyu20080@126.com

潘卫东, 男, 研究员, 主要从事民族药及喀斯特特色药用植物活性成分发现研究。E-mail: wdpan@163.com

15 showed anti-neuritis activity, among compounds 1, 2, 6, 8 and 15 significantly inhibited the production of the inflammatory mediator NO, with median inhibition concentration (IC₅₀) values ranging from 3.48 to 9.22 μmol/L. **Conclusion** Compound 1 was a novel abietane diterpenoid, named tetrandrine A. The compounds (1—16) were obtained from this plant for the first time. Moreover, nine of the compounds exhibited obvious inhibitory activity against nitric oxide production of the LPS-induced BV-2 cells.

Key words: *Prunella vulgaris* subsp. *hispida* (Benth.); ethyl caffeate; methyl rosmarinate; ethyl rosmarinate; abietane diterpenoid; anti-neuroinflammatory

夏枯草属为唇形科多年生草本植物，广布于欧亚温带地区及热带山区，非洲西北部及北美洲。该属植物在全球约有 15 个种，我国有 4 个种^[1]，分别为夏枯草 *Prunella vulgaris* L.，硬毛夏枯草 *P. vulgaris* subsp. *hispida* (Benth.)，大花夏枯草 *P. grandiflora* (Linnaeus) 和山菠菜 *P. asiatica* (Nakai)。夏枯草是夏枯草属中最具代表性的物种之一，兼具传统药用价值、现代药理活性以及食品开发潜力，其化学成分和药理活性的研究也最为深入。夏枯草是一种药食同源的多年生草本植物，生长在山沟水湿地或河岸两旁湿草丛、荒地、路旁，其广泛分布于中国各地，以河南、安徽、江苏、湖南、贵州等省为主要产地。《中国药典》2020 年版记载其性味辛、苦、寒，归肝、胆经，可清肝散火、明目、散结消肿^[2]。药理研究发现，全草含萜类、酚酸、黄酮、有机酸类等活性成分，具有抗炎、抗氧化、抗肿瘤、降压、降血糖及增强机体免疫功能等多种药理活性^[3-5]。

硬毛夏枯草是夏枯草属中的 1 种多年生草本植物，主要分布于我国云南、贵州以及四川等西南地区。贵州作为硬毛夏枯草主要产地之一，在民间常当成夏枯草使用^[6]。目前，有关黔产硬毛夏枯草化学成分分离纯化的研究尚不全面，其化学成分结构类型及物质活性有待进一步探索。鉴于此，本研究对黔产硬毛夏枯草 95%乙醇提取物开展了分离纯化，鉴定出 16 个化合物，分别为 (3*S*,4*S*,5*R*,10*S*)-3,11,14-三羟基-18-(羟甲基)-13-异丙基-12-甲氧基-4,10-二甲基-1,2,3,3a,6,6a-六氢菲-7(1*H*)-酮 [(3*S*,4*S*,5*R*,10*S*)-3,11,14-trihydroxy-18-(hydroxymethyl)-13-isopropyl-12-methoxy-4,10-dimethyl-1,2,3,3a,6,6a-hexahydrophenanthren-7(1*H*)-one, 1]、薄荷醇 B (nepetoidin B, 2)、水杨酸 (salicylic acid, 3)、咖啡酸 (caffeic acid, 4)、布拉克坦内酯 A (bracteanolide A, 5)、咖啡酸乙酯 (ethyl caffeate, 6)、原儿茶醛 (protocatechualdehyde, 7)、对羟基肉桂酸 (4-hydroxycinnamic acid, 8)、(3-羟基-4-(4-(2-

羟乙基)苯氧基)苯甲醛 [3-hydroxy-4-(4-(2-hydroxyethyl) phenoxy)-benzaldehyde, 9]、3,4-二羟基苯甲酸甲酯 (3,4-dihydroxy-acetophenone, 10)、3,4-(3',4'-二羟基苯基)呋喃-2(5*H*)-酮 [3,4-(3',4'-dihydroxyphenyl) furan-2(5*H*)-one, 11]、3-(3,4-二羟基苯基)乳酸乙酯 [ethyl lactate 3-(3,4-dihydroxyphenyl), 12]、酪醇 (tyrosol, 13)、科鲁乔醇 C (corchoionol C, 14)、迷迭香酸甲酯 (methyl rosemary acid, 15)、迷迭香酸乙酯 (ethyl linalolate, 16)。所有化合物均为首次从黔产硬毛夏枯草中分离得到，其中化合物 1 为新化合物，命名为夏枯草萜 A (tetrandrine A)。并采用脂多糖 (lipopolysaccharides, LPS) 诱导的 BV-2 细胞模型评估 16 个单体化合物的抗神经炎活性，以期为黔产硬毛夏枯草的进一步开发和利用提供基础数据。

1 材料

1.1 仪器与材料

QE Focus 型串联四极杆飞行时间液质谱联用仪 (美国赛默飞世尔科技有限公司); 德国 Bruker 超导核磁共振仪 (Bruker Avance NEO 600 MHz); Agilent 1100 高效液相色谱仪 (Agilent Technologies, USA); 酶标仪 (美国赛默飞世尔科技公司); 倒置显微镜 (浙江舜宇光学科技有限公司); XBridge BEH OBD C₁₈ 半制备柱色谱柱 (250 mm×10 mm, 5 μm, 美国安捷伦科技有限公司); 正相色谱硅胶为烟台新诺新材料技术有限公司产品 (60~80、200~300、300~400 目); 薄层色谱正相硅胶板 (青岛海洋化工有限公司); 凝胶 Sephadex LH-20 (瑞典 Amersham Biosciences 公司); N-1300 型旋转蒸发器 (上海爱朗仪器有限公司); DLSB-5L/25 低温冷却液循环泵 (巩义市予华仪器有限责任公司); ME204E/02 电子分析天平 (瑞士梅特勒-托利多公司); HF90 (90) 型二氧化碳细胞培养恒温箱 (上海力申科学仪器有限公司); SN-CJ-2FDQ 超净工作台 (浙江孚夏医疗科技有限公司); TGL-16.5M 高速离心机 (上海卢湘仪离心机仪器有限公司); OBS-2200

恒温水浴锅（深圳鼎鑫宜实验设备有限公司）；YXQ-50SII 立式压力蒸汽灭菌锅（上海博迅医疗生物仪器股份有限公司）；细胞培养板（上海耐思生物科技有限公司）；细胞培养板（上海耐思生物科技有限公司）。

1.2 药品与试剂

DMEM 高糖培养基（美国 Gibco 公司）；LPS、胰蛋白（北京索莱宝科技有限公司）；小鼠小胶质细胞 BV-2（苏州海星生物科技有限公司）；PBS 缓冲液（武汉赛维尔生物科技有限公司）；NO 试剂盒（上海碧云天生物科技有限公司）；吲哚美辛（上海源叶生物科技有限公司，批号 J12HS184261）。色谱甲醇 [萨恩化学技术（上海）有限公司]；其他试剂均为分析纯，水为超纯水。

1.3 药材

样品于 2022 年 7 月，在贵州省威宁县采集硬毛夏枯草全草，晒干后保存、备用。标本由贵州省天然产物研究中心张妮副教授鉴定为硬毛夏枯草 *P. vulgaris* subsp. *hispida* (Benth.)，标本（20220701）保存于贵州省天然产物研究中心。

2 方法

2.1 提取与分离

将晒干的黔产硬毛夏枯草样品（56 kg）粉碎成粗粉，用 95%乙醇加热回流提取 2 次，每次 2 h，减压浓缩至无醇味，得到总浸膏。将总浸膏分散于水中，依次用石油醚、醋酸乙酯萃取，分别得到石油醚部位（660.8 g）、醋酸乙酯部位（776.4 g）。

醋酸乙酯部位（776.4 g）经硅胶柱色谱分离，二氯甲烷-甲醇梯度洗脱，TLC 合并后得到 9 个组分（Fr. A₁~A₉）。其中 Fr. A₇（237.8 g）组分通过 C₁₈ 反相柱色谱，以 50%~100%甲醇梯度洗脱，TLC 合并后得到 8 个组分 Fr. A₇₋₁~A₇₋₈。组分 Fr. A₇₋₅（2.0 g）经正相硅胶柱色谱，二氯甲烷-甲醇（50：1→5：1）梯度洗脱得 6 个组分 Fr. A₇₋₅₋₁~A₇₋₅₋₆。组分 A₇₋₅₋₃（488.0 mg）经半制备型高效液相（甲醇-水 60：40，2 mL/min，*t_R*=42 min），后经结晶后得到化合物 1（26.0 mg）。组分 A₇₋₅₋₅（490.0 mg）经半制备型高效液相（甲醇-水 44：56，2 mL/min，*t_R*=37 min），得到化合物 2（7.6 mg）。组分 A₇₋₂（7.1 g）经正相硅胶柱色谱，以二氯甲烷-甲醇（50：1→5：1）梯度洗脱得 7 个组分 Fr. A₇₋₂₋₁~A₇₋₂₋₇。其中组分 A₇₋₂₋₂ 经结晶后得到化合物 3（30.0 mg），组分 Fr. A₇₋₂₋₇（601.0 mg）经半制备型高效液相（甲醇-水 60：40，2

mL/min，*t_R*=39 min）得到化合物 4（64.6 mg）。组分 Fr. A₇₋₁（7.0 g）经正相硅胶柱色谱，以二氯甲烷-甲醇（50：1→5：1）梯度洗脱得 8 个组分 Fr. A₇₋₁₋₁~A₇₋₁₋₈。组分 Fr. A₇₋₁₋₅（277.0 mg）先后经半制备型高效液相（甲醇-水 20：80，2 mL/min，*t_R*=13 min），得到化合物 5（13.4 mg）。组分 Fr. A₇₋₁₋₂（500 mg）先后经 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱（二氯甲烷-甲醇 1：1）、半制备型高效液相色谱（甲醇-水 30：70，2 mL/min，*t_R*=24、13、65、21、31、38、15、22、27 min），得到化合物 6（4.9 mg）、7（37.4 mg）、8（34.7 mg）、9（31.5 mg）、10（11.9 mg）、11（3.2 mg）、12（7.8 mg）、13（2.3 mg）和 14（2.4 mg）。组分 Fr. A₇₋₃（1.5.0 g）经正相硅胶柱色谱以二氯甲烷-甲醇（50：1→5：1）梯度洗脱得 8 个组分 Fr. A₇₋₃₋₁~A₇₋₃₋₈。组分 A₇₋₃₋₅（160.0 mg）经 HPLC 色谱（甲醇-水 52：48，2 mL/min，*t_R*=18、25 min）分离得到化合物 15（9.9 mg）和 16（131.4 mg）。

2.2 抗神经炎活性

采用 LPS 诱导的小鼠小胶质细胞（BV-2 细胞）炎症模型，采用 Griess 法测定分离得到的 16 个化合物对 LPS 诱导下 BV-2 细胞产生 NO 的抑制活性。用 DMEM 高糖培养基 [含 10%胎牛血清（FBS）、青霉素链霉素双抗] 培养 BV-2 细胞，并将细胞置于 37 °C、5% CO₂ 细胞培养箱中进行传代培养。取对数生长期状态良好的 BV-2 细胞，制备细胞混悬液，血球计数板计数，稀释至 2.5×10⁴ 个/mL，以 90 μL/孔将细胞混悬液接种于 96 孔板上，于 37 °C、5% CO₂ 培养箱培养 24 h。在 96 孔板中设置对照组、模型组和给药组 3 组实验，每组均设 3 个复孔，模型组和给药组每孔均加入 10 μL LPS（10 μg/mL）诱导炎症模型，给药组以 10 μL/孔加入待测化合物（200 μmol/L）。

2.2.1 细胞毒性评价 化合物用培养基稀释至 250 μmol/L，以 10 μL/孔加至给药组中。于 37 °C、5% CO₂ 环境下孵育 2 h 后，对照组和给药组每孔均加入 10 μL LPS（10 μg/mL）。细胞培养 24 h 后每孔加入 10 μL MTT 染色剂，继续培养 4 h，吸去上清液，加入 150 μL DMSO，测定吸光度（*A*）值，计算细胞存活率。

$$\text{存活率} = A_{\text{给药}} / A_{\text{对照}}$$

2.2.2 抗神经炎活性评价 将待测化合物溶解于培养基中，配制成 200 μmol/L，以 10 μL/孔加至给药组中。于 37 °C、5% CO₂ 恒温培养箱中孵育 2 h 后，向模型组和给药组每孔均加入 10 μg/mL 的 LPS

溶液 10 μL , 诱导细胞产生一氧化氮 (NO), 随后继续在相同培养条件下培养 24 h 后, 吸取每孔各 50 μL 的上清液, 按照 NO 试剂盒说明书操作步骤, 用酶标仪在 540 nm 下检测各孔 A 值, 计算化合物对 NO 生成的抑制率, 实验重复 3 次, 计算平均值。再选取 NO 抑制率大于 60% 的化合物, 用培养基稀释成 6 个不同浓度的样品, 重复上述步骤, 测得 A 值, 每次实验均设咪喹啉美辛阳性化合物, 以化合物浓度为横坐标, NO 抑制率为纵坐标绘制细胞生长曲线。采用两点法 (Reed and Muench 法) 对实验数据进行分析, 计算出化合物的半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC_{50})。实验重复 3 次, 取平均值作为最终 IC_{50} 结果。

$$\text{NO 生成抑制率} = 1 - (A_{\text{实验}} - A_{\text{空白}}) / (A_{\text{对照}} - A_{\text{空白}})$$

3 结果与分析

3.1 化合物鉴定

化合物 **1**: 黄色针状结晶 (甲醇), 微溶于甲醇, $[\alpha]_{\text{D}}^{25} -67.8^{\circ}$ (c 0.5, MeOH), $\text{UV } \lambda_{\text{max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 278.1 (3.17); $\text{IR } \nu_{\text{max}}^{\text{KBr}}$ (cm^{-1}): 3 738, 3 627, 3 294, 1 713, 1 230。高分辨质谱 HR-ESI-MS 显示分子离子峰 m/z 379.210 1 $[\text{M}+\text{H}]^{+}$ (计算值 $\text{C}_{21}\text{H}_{31}\text{O}_6$, 379.211 5), 结合该化合物氢谱和碳谱确定其分子式为 $\text{C}_{21}\text{H}_{30}\text{O}_6$, 有 7 个不饱和度。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) 谱 (表 1) 显示有 1 个异丙基信号 δ_{H} 3.31 (1H, m), 1.27 (1H, d, $J = 6.7$ Hz), 1.29 (1H, d, $J = 6.9$ Hz) 和 1 个甲氧基信号 δ_{H} 3.67 (3H, s)。此外, $^{13}\text{C-NMR}$ 数据 (表 1) 以及 HSQC 数据显示化合物 **1** 中共有 21 个碳信号, 包括 5 个甲基信号 [含 1 个甲氧基 (δ_{C} 61.0)]; 4 个亚甲基信号 [含 1 个连氧亚甲基 (δ_{C} 63.4)]; 3 个次甲信号 [含 1 个连氧次甲基 (δ_{C} 69.0)]; 以及 9 季碳信号 [含 1 个酮羰基 (δ_{C} 206.3), 6 个 sp^2 杂化季碳信号 (δ_{C} 154.3, 156.5, 139.8, 137.4, 125.5, 111.7)]。进一步分析其二维核磁谱图发现化合物 **1** 与已知化合物 inuroyleanol 相似^[7], 主要差异为化合物 **1** 的 C-3 由羟基取代, C-18 由羟甲基取代。故推测化合物 **1** 也属松香烷型二萜类化合物。

$^1\text{H-NMR}$ COSY 中显示 H-1/H-2/H-3、H-5/H-6、H-16/H-15/H-17 相关性, 提示 3 个自旋系统。在化合物 **1** HMBC 谱图中 (图 1), H-3 (δ_{H} 3.51) 和 C-4 (δ_{C} 42.3), C-5 (δ_{C} 41.0), C-19 (δ_{C} 12.4) 相关, 推测羟基与 C-3 相连; H-18 (δ_{H} 3.36) 和 C-4、C-5、C-3 (δ_{C} 69.0), C-19 之间相关, 以及 C-18 (δ_{C} 63.4) 的化学位移明显向低场移动, 推测 C-18 为羟甲基取代。综上, 确定了化合物 **1** 的平面结构 (图 1)。化合物 **1** 的相对

表 1 化合物 **1** 的核磁共振氢谱和碳谱数据 (600/150 MHz, $\text{DMSO-}d_6$)

Table 1 $^1\text{H-NMR}$ and $^{13}\text{C-NMR}$ data of compound **1** (600/150 MHz, $\text{DMSO-}d_6$)

碳位	δ_{C}	δ_{H}
1 α	34.3	1.25 (1H, dd, $J = 13.8, 3.9$ Hz)
1 β		3.31 (1H, overlapped)
2 α	27.3	1.66 (1H, m)
2 β		1.60 (1H, m)
3	69.0	3.51 (1H, dt, $J = 11.7, 4.8$ Hz)
4	42.3	
5	41.0	2.04 (1H, dd, $J = 14.7, 2.4$ Hz)
6 α	34.7	2.68 (1H, dd, $J = 17.1, 14.7$ Hz)
6 β		2.43 (1H, dd, $J = 17.1, 2.4$ Hz)
7	206.3	
8	111.7	
9	137.4	
10	40.1	
11	139.8	
12	154.3	
13	125.5	
14	156.5	
15	24.7	3.32 (1H, d, $J = 3.0$ Hz)
16	20.5	1.27 (3H, d, $J = 6.9$ Hz)
17	20.6	1.29 (3H, d, $J = 6.9$ Hz)
18 α	63.4	3.07 (1H, dd, $J = 10.8, 4.8$ Hz)
18 β		3.36 (1H, dd, $J = 10.8, 5.1$ Hz)
19	12.4	0.65 (1H, s)
20	17.6	1.31 (3H, s)
21	61.1	3.67 (3H, s)

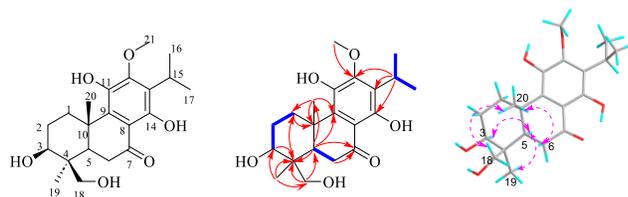


图 1 化合物 **1** 的关键 HMBC (→)、 $^1\text{H-NMR}$ COSY (→) 和 NOESY (→) 相关

Fig.1 Key HMBC, $^1\text{H-NMR}$ COSY and NOESY correlations of compound **1**

构型通过 NOESY 谱图的相关信号确定, H-3/H-5/H₃-19 相关, H-6β/H₃-20/H₂-18 存在相关信号, 其中 H-3、H-5、CH₃-19 为 α 取向, H-18 与 CH₃-20 均为 β 取向。进一步通过 ECD 计算 (图 2), 通过对化合物 1 的实测 ECD 和计算 ECD 的曲线进行比较, 确定化合物 1 的绝对构型为 3*S*,4*S*,5*R*,10*S*, 经 Scifinder 数据库检索为新化合物, 命名为夏枯草萜 A。

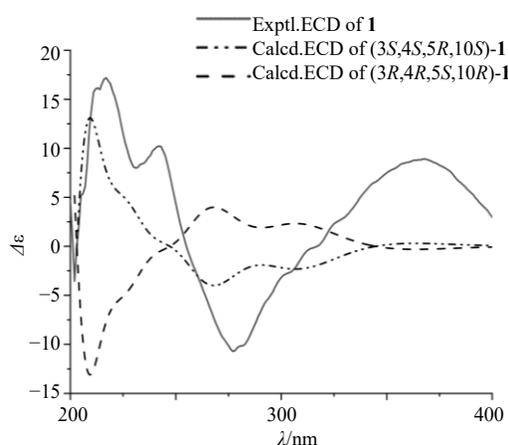


图 2 化合物 1 的测试和计算 ECD 谱

Fig. 2 Experimental and calculated ECD spectra of compound 1

化合物 2: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 313.0 [M-H]⁻, 分子式为 C₁₇H₁₄O₆。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.73 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-7), 7.29 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-2'), 7.23 (1H, d, J = 7.2 Hz, H-7'), 7.13 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-2), 7.05 (1H, dd, J = 8.4, 2.1 Hz, H-6), 6.91 (1H, dd, J = 8.4, 2.1 Hz, H-6'), 6.81 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5), 6.45 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-5'), 5.63 (1H, d, J = 7.2 Hz, H-8'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 165.9 (C-9), 150.4 (C-4), 149.1 (C-3), 149.1 (C-4'), 147.1 (C-3), 146.2 (C-7), 133.1 (C-8'), 128.1 (C-1'), 128.0 (C-1), 123.6 (C-6), 122.9 (C-6'), 117.5 (C-2'), 116.7 (C-5'), 116.3 (C-5), 115.6 (C-2), 113.8 (C-8), 113.3 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[8], 故鉴定化合物 2 为 nepetoidin B。

化合物 3: 白色结晶 (甲醇), ESI-MS m/z : 257.2 [M-H]⁻, 分子式为 C₇H₆O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.85 (1H, dd, J = 7.8, 1.8 Hz, H-6), 7.46 (1H, ddd, J = 8.7, 7.2, 1.8 Hz, H-4), 6.91 (1H, dd, J = 8.4, 1.2 Hz, H-3), 6.90 (1H, m, H-5); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 173.5 (C-7), 163.1 (C-2), 136.5 (C-4), 131.4 (C-6), 119.9 (C-5), 118.1 (C-3)。以上数据与

文献报道基本一致^[9], 故鉴定化合物 3 为水杨酸。

化合物 4: 白色粉末, ESI-MS m/z : 179.0 [M-H]⁻, 分子式为 C₉H₈O₄。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.53 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-7), 7.04 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-6), 6.93 (1H, dd, J = 8.1, 2.1 Hz, H-2), 6.78 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5), 6.23 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 171.7 (C-9), 149.8 (C-4), 147.3 (C-7), 147.2 (C-3), 128.3 (C-1), 123.3 (C-6), 116.9 (C-5), 116.2 (C-8), 115.5 (C-2)。以上数据与文献报道基本一致^[9], 故鉴定化合物 4 为咖啡酸。

化合物 5: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 207.0 [M-H]⁻, 分子式为 C₁₀H₈O₅。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.22 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-2'), 7.19 (1H, d, J = 9.0 Hz, H-6'), 6.83 (1H, dd, J = 8.4, 2.7 Hz, H-5'), 6.46 (1H, d, J = 2.7 Hz, H-5), 6.25 (1H, d, J = 3.0 Hz, H-3); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 174.3 (C-2), 166.1 (C-4), 150.6 (C-4'), 146.9 (C-3'), 122.7 (C-1'), 122.4 (C-6'), 116.6 (C-5'), 116.1 (C-2'), 111.9 (C-3), 100.1 (C-5)。以上数据与文献报道基本一致^[10], 故鉴定化合物 5 为 bracteanolide A。

化合物 6: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 207.1 [M-H]⁻, 分子式为 C₁₁H₁₂O₄。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.53 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-7), 7.03 (1H, d, J = 2.1 Hz, H-2), 6.94 (1H, dd, J = 8.1, 2.1 Hz, H-6), 6.77 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5), 6.25 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-8), 4.21 (2H, q, J = 7.2 Hz, H-1'), 1.31 (3H, t, J = 7.2 Hz, H-2'); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 169.1 (C-9), 149.6 (C-1), 146.5 (C-1), 146.5 (C-3), 127.5 (C-2), 122.7 (C-5), 116.3 (C-6), 115.0 (C-7), 114.9 (C-8), 61.2 (C-1'), 14.4 (C-2')。以上数据与文献报道基本一致^[11], 故鉴定化合物 6 为咖啡酸乙酯。

化合物 7: 灰白色固体, ESI-MS m/z : 137.2 [M-H]⁻, 分子式为 C₇H₈O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 9.68 (1H, s, H-7), 7.31 (1H, d, J = 1.5 Hz, H-6), 7.30 (1H, s, H-2), 6.90 (1H, d, J = 8.1 Hz, H-5); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 192.6 (C-7), 153.4 (C-4), 146.8 (C-3), 130.3 (C-1), 126.0 (C-6), 115.8 (C-5), 114.9 (C-2)。以上数据与文献报道基本一致^[12], 故鉴定化合物 7 为原儿茶醛。

化合物 8: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 163.0 [M-H]⁻, 分子式为 C₉H₈O₃。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.60 (1H, d, J = 15.9 Hz, H-7), 7.44 (2H, d, J = 8.7 Hz, H-2, 6),

6.80 (2H, d, $J=8.7$ Hz, H-3, 5), 6.28 (1H, d, $J=15.9$ Hz, H-8); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 171.0 (C-9), 161.0 (C-7), 146.4 (C-4), 130.9 (C-1), 127.1 (C-2, 6), 116.6 (C-3, 5), 115.6 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定化合物 **8** 为对羟基肉桂酸。

化合物 **9**: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 257.1 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{13}\text{H}_{13}\text{O}_4$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 9.67 (1H, s, H-7), 7.31 (1H, d, $J=1.8$ Hz, H-6), 7.30 (1H, s, H-2), 7.02 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-3', 5'), 6.91 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-5), 6.70 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-2', 6'), 3.71~3.65 (2H, m, H-8'), 2.71 (2H, t, $J=7.2$ Hz, H-7'); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 193.3 (C-7), 156.8 (C-1'), 154.0 (C-4), 147.3 (C-3), 131.1 (C-4'), 131.0 (C-3', 5'), 130.8 (C-1), 126.7 (C-6), 116.4 (C-5), 116.2 (C-2'), 115.5 (C-6'), 114.9 (C-2), 64.7 (C-8'), 39.5 (C-7')。以上数据与文献报道基本一致^[14], 故鉴定化合物 **9** 为 (3-羟基-4-(4-(2-羟乙基)苯氧基)苯甲醛)。

化合物 **10**: 白色针晶 (甲醇), ESI-MS m/z : 167.0 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_4$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.68~7.10 (2H, m, H-2, 6), 6.82 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-5), 2.50 (3H, s, H-8); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 200.0 (C-7), 152.6 (C-4), 146.7 (C-3), 130.9 (C-1), 123.8 (C-6), 116.3 (C-2), 116.1 (C-5), 26.5 (C-8)。以上数据与文献报道基本一致^[15], 故鉴定化合物 **10** 为 3,4-二羟基苯甲酸甲酯。

化合物 **11**: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 191.0 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{10}\text{H}_8\text{O}_4$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.07 (1H, s, H-2'), 7.04 (1H, dd, $J=8.2, 1.5$ Hz, H-6'), 6.84 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-5'), 6.24 (1H, s, H-3), 5.28 (2H, d, $J=1.5$ Hz, H-5); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 178.0 (C-2), 168.2 (C-4), 151.2 (C-4'), 147.5 (C-3'), 123.2 (C-1'), 121.2 (C-6'), 117.1 (C-5'), 115.1 (C-2'), 110.1 (C-3), 73.3 (C-5)。以上数据与文献报道基本一致^[16], 故鉴定化合物 **11** 为 3,4-(3',4'-二羟基苯基)呋喃-2(5H)-酮。

化合物 **12**: 黄色粉末, ESI-MS m/z : 225.1 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_5$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 6.67 (1H, d, $J=1.5$ Hz, H-2), 6.66 (1H, d, $J=4.8$ Hz, H-5), 6.53 (1H, dd, $J=8.1, 2.1$ Hz, H-6), 4.26 (1H, dd, $J=7.5, 5.4$ Hz, H-8), 4.13 (2H, q, $J=7.2$ Hz, H-10), 2.88 (1H, dd, $J=13.8, 5.4$ Hz, H-7 α), 2.78 (1H, dd, $J=13.8, 7.5$ Hz, H-7 β), 1.21 (3H, t, $J=7.2$ Hz, H-11); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 175.5 (C-

9), 146.1 (C-3), 145.1 (C-4), 129.8 (C-1), 121.8 (C-6), 117.6 (C-5), 116.1 (C-2), 73.4 (C-8), 61.9 (C-10), 41.2 (C-7), 14.5 (C-11)。以上数据与文献报道基本一致^[17], 故鉴定化合物 **12** 为 3-(3,4-二羟基苯基)乳酸乙酯。

化合物 **13**: 白色无定型粉末, ESI-MS m/z : 138.1 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.03 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-2, 6), 6.70 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-3, 5), 3.68 (2H, t, $J=7.2$ Hz, H-7), 2.71 (2H, t, $J=7.2$ Hz, H-8); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 151.2 (C-4), 130.7 (C-1), 130.6 (C-6), 130.6 (C-2), 115.8 (C-3, 5), 64.3 (C-8), 39.1 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[18], 故鉴定化合物 **13** 为酪醇。

化合物 **14**: 无色油状液体, ESI-MS m/z : 223.1 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{13}\text{H}_{20}\text{O}_3$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 5.88 (1H, s, $J=2.4$ Hz, H-4), 5.80 (2H, d, $J=3.0$ Hz, H-7, 8), 5.79 (1H, m, H-9), 2.49 (1H, d, $J=16.8$ Hz, H-2 β), 2.16 (1H, d, $J=16.8$ Hz, H-2 α), 1.91 (3H, s, H-11), 1.24 (3H, d, $J=6.9$ Hz, H-10), 1.04 (3H, s, H-12), 1.02 (3H, s, H-13); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 201.2 (C-3), 167.5 (C-5), 136.9 (C-7), 129.9 (C-8), 127.1 (C-4), 80.0 (C-6), 68.6 (C-9), 50.7 (C-2), 42.4 (C-1), 24.5 (C-13), 23.8 (C-10), 23.5 (C-12), 19.6 (C-11)。以上数据与文献报道基本一致^[19], 故鉴定化合物 **14** 为 corchoionol C。

化合物 **15**: 黄色油状物, ESI-MS m/z : 373.1 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{O}_8$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD) δ : 7.56 (1H, d, $J=15.9$ Hz, H-7'), 7.05 (1H, d, $J=2.1$ Hz, H-2'), 6.96 (1H, dd, $J=8.1, 2.1$ Hz, H-6'), 6.78 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-5'), 6.71 (1H, d, $J=2.1$ Hz, H-2), 6.70 (1H, d, $J=8.1$ Hz, H-5), 6.57 (1H, dd, $J=8.1, 2.1$ Hz, H-6), 6.27 (1H, d, $J=15.9$ Hz, H-8'), 5.19 (1H, dd, $J=7.8, 5.1$ Hz, H-8), 3.70 (3H, s, 9-OCH₃), 3.06 (1H, dd, $J=14.4, 5.1$ Hz, H-7 α), 3.02 (1H, dd, $J=14.4, 7.8$ Hz, H-7 β); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 172.0 (C-9), 168.1 (C-9'), 149.7 (C-4'), 147.8 (C-7'), 146.7 (C-3'), 146.0 (C-3), 145.2 (C-4), 128.5 (C-1), 127.3 (C-1'), 123.0 (C-6), 121.6 (C-6'), 117.3 (C-2), 116.3 (C-5'), 116.1 (C-5), 115.0 (C-2'), 113.9 (C-8'), 74.5 (C-8), 52.5 (9-OCH₃), 37.7 (C-7)。以上数据与文献报道基本一致^[20], 故鉴定化合物 **15** 为迷迭香酸甲酯。

化合物 **16**: 黄色油状物, ESI-MS m/z : 387.1 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 分子式为 $\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{O}_8$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, CD_3OD)

δ : 7.56 (1H, d, $J = 15.9$ Hz, H-7'), 7.06 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-2'), 6.95 (1H, dd, $J = 8.1, 2.1$ Hz, H-6'), 6.79 (1H, d, $J = 8.1$ Hz, H-5'), 6.73 (1H, d, $J = 2.1$ Hz, H-2), 6.71 (1H, d, $J = 8.1$ Hz, H-5), 6.58 (1H, dd, $J = 8.1, 2.1$ Hz, H-6), 6.27 (1H, d, $J = 15.9$ Hz, H-8'), 5.16 (1H, dd, $J = 7.2, 5.7$ Hz, H-8), 4.14 (2H, q, $J = 7.2$ Hz, H-1'), 3.35 (1H, s, H-7 α), 3.03 (2H, dd, $J = 6.6, 3.0$ Hz, H-7 β), 1.19 (3H, t, $J = 7.2$ Hz, H-2''); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, CD_3OD) δ : 171.6 (C-9), 168.2 (C-9'), 149.5 (C-4'), 147.7 (C-7'), 146.5 (C-3'), 145.9 (C-3), 145.1 (C-4), 128.5 (C-1), 127.3 (C-1'), 123.0 (C-6'), 121.7 (C-6), 117.4 (C-2), 116.3 (C-5'), 116.1 (C-5), 115.0 (C-2'), 113.9 (C-8'), 74.5 (C-8), 62.2 (C-1''), 37.6 (C-7), 14.1 (C-2''). 以上数据与文献报道基本一致^[20], 故鉴定化合物 16 为迷迭香酸乙酯。

3.2 抗神经炎活性实验结果

有研究表明, 夏枯草属植物分离鉴定得到的一系列化合物具有抗炎和神经保护活性^[21-23], 本实验以此为参考, 采用 LPS 刺激的 BV-2 细胞模型评估此次分离得到 16 个单体化合物的抗神经炎活性, 并采用 MTT 法进行了细胞毒性实验。与对照组相比, 14 个化合物 (除 11、16 外) 在 25 $\mu\text{mol/L}$ 浓度时细胞存活率均大于 80%, 结果见表 2。实验结果表明, 在给药浓度为 20 $\mu\text{mol/L}$ 时, 化合物 (1~10、12~15) 均对诱导小鼠小胶质细胞 BV-2 中 NO 的产生有不同程度的抑制作用 (表 3)。对其中抑制率大于 60% 的化合物进行实验, IC_{50} 结果为化合物 1、2、6、8 和 15 对 NO 的产生有很强的抑制作用, IC_{50} 值分别为 (5.72 \pm 1.82)、(3.96 \pm 0.28)、(3.76 \pm 0.65)、(9.22 \pm 1.14)、(3.48 \pm 0.86) $\mu\text{mol/L}$ [阳性对照吲哚美辛 IC_{50} 为 (37.68 \pm 2.31) $\mu\text{mol/L}$]; 化合物 4、5、9 和 12 表现出中等抑制活性, IC_{50} 值分别为 (12.56 \pm 2.02)、(22.07 \pm 0.87)、(22.23 \pm 2.93)、(20.87 \pm 2.32) $\mu\text{mol/L}$ 。结果见表 4。

4 讨论

神经炎症对多种急性和慢性神经退行性疾病的发生有着密切联系^[24-26], 神经炎症^[27]产生的主要病因有胶质细胞的激活、血脑屏障的破坏以及外周免疫细胞进入脑实质内等, 胶质细胞的过度激活会导致细胞释放多种炎症因子, 如一氧化氮 (NO)、肿瘤坏死因子及前列腺素 E2 等, 造成神经元的损伤和变性。因此, 抑制神经胶质细胞过度活化引起的炎症反应对神经退行性疾病的治疗具有重要意义。

表 2 化合物 1~16 对 LPS 诱导的 BV-2 细胞的存活率 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 2 Effect of compound 1—16 on survival rate of BV-2 cells induced by LPS ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

化合物	存活率/%	化合物	存活率/%
1	85.72 \pm 2.54	9	89.40 \pm 0.02
2	87.41 \pm 3.93	10	81.59 \pm 0.69
3	91.20 \pm 2.91	11	62.71 \pm 2.26
4	94.96 \pm 2.85	12	90.40 \pm 1.10
5	85.89 \pm 2.87	13	89.85 \pm 1.60
6	92.93 \pm 1.18	14	93.41 \pm 1.84
7	91.25 \pm 3.49	15	92.79 \pm 4.03
8	89.82 \pm 1.84	16	65.83 \pm 1.44

表 3 化合物 1~10、12~15 对 LPS 诱导的 BV-2 细胞中 NO 产生的抑制作用 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 3 Inhibitory effects of 1—10, 12—15 on LPS-induced NO production in BV-2 cells ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

化合物	抑制率/%	化合物	抑制率/%
1	77.73 \pm 3.62	8	80.78 \pm 0.96
2	89.91 \pm 3.00	9	61.15 \pm 2.37
4	66.07 \pm 2.34	12	66.67 \pm 1.96
5	62.59 \pm 1.06	15	89.67 \pm 3.62
6	90.18 \pm 4.72	吲哚美辛	50.17 \pm 2.13

表 4 化合物 1~10、12~15 对 LPS 诱导的 BV-2 细胞中 NO 产生的 IC_{50} ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 4 IC_{50} of compounds 1—10, 12—15 on LPS-induced NO production in BV-2 cells ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

化合物	$\text{IC}_{50}/(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	化合物	$\text{IC}_{50}/(\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$
1	5.72 \pm 1.82	8	9.22 \pm 1.14
2	3.96 \pm 0.28	9	22.23 \pm 2.93
4	12.56 \pm 2.02	12	20.87 \pm 2.32
5	22.07 \pm 0.87	15	3.48 \pm 0.86
6	3.76 \pm 0.65	吲哚美辛	37.68 \pm 2.31

本研究从黔产硬毛夏枯草全草的 95%乙醇提取物中分离鉴定得到了 16 个化合物, 包括 1 个松香烷型二萜类化合物和 15 个酚酸类化合物, 并且对所有的化合物进行 LPS 诱导 BV-2 炎症模型 NO 的产生的抑制活性评价。结果显示, 化合物 1、2、4~6、8、9、12 和 15 均表现出抗神经炎活性, 其中化合物 1、2、6、8、15 对 LPS 刺激的 BV-2 细胞 NO 的生成有显著抑制作用, 其 IC_{50} 为 3.48~9.22 $\mu\text{mol/L}$ 。本课题对黔产硬毛夏枯草的化学成分及其抗神经炎活性的研究, 丰富了硬毛夏枯草的化学成

分,为黔产硬毛夏枯草抗神经炎活性成分的发现和进一步开发利用提供了研究依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志 (第六十三卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1977: 40.
- [2] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 292.
- [3] Zhang X B, Shen T, Zhou X, *et al.* Network pharmacology based virtual screening of active constituents of *Prunella vulgaris* L. and the molecular mechanism against breast cancer [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 15730.
- [4] Shen J, Liang B Y. Sex specific effects of *Prunella vulgaris* on longevity regulation [J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2022, 77(1): 155-156.
- [5] 李娜, 邵国泉, 王文建, 等. 夏枯草药理作用研究进展 [J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2019, 35(12): 26-27.
- [6] 浦湘渝, 周俊. 硬毛夏枯草的新三萜: 夏枯草酸 [J]. 云南植物研究, 1987, 9(4): 503-504.
- [7] Deng Y Y, Hua J, Wang W J, *et al.* Cytotoxic terpenoids from the roots of *Dracocephalum taliense* [J]. *Molecules*, 2017, 23(1): 57.
- [8] Zhou W T, Xie H H, Xu X Y, *et al.* Phenolic constituents from *Isodon lophanthoides* var. *graciliflorus* and their antioxidant and antibacterial activities [J]. *J Funct Foods*, 2014, 6: 492-498.
- [9] 陈昌伦, 胡思婧, 朱丽丽, 等. 覆盆子化学成分的分鉴定及其新型大麻素 2 型受体激动剂的筛选和抗骨质疏松作用评价 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 386-401.
- [10] 黄周锋, 黄建猷, 卢文杰, 等. 裸花水竹草化学成分 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22(21): 73-76.
- [11] Zhao J Q, Wei F, Liu H, *et al.* Two aromatic acid derivatives and a xanthone from *Hypericum hengshanense* [J]. *Nat Prod Res*, 2024, 38(9): 1537-1544.
- [12] Peng W, Ya C, Lan-chun P, *et al.* Study on the chemical constituents from the petroleum ether extract of *Alocasia cucullata* (Lour.) Schott and their breast cancer cell cytotoxicity [J]. *Nat Prod Res Develop*, 2024, 36(1): 72.
- [13] Goetz G, Fkyerat A, Métais N, *et al.* Resistance factors to grey mould in grape berries: Identification of some phenolics inhibitors of *Botrytis cinerea* stilbene oxidase [J]. *Phytochemistry*, 1999, 52(5): 759-767.
- [14] 邹妍, 张蕾, 续洁琨, 等. 地黄地上部分中一个新苯甲醛类化合物 [J]. 中国中药杂志, 2015, 40(7): 1316-1319.
- [15] 王宁, 汤丽昌, 姚海萍, 等. 岭南山竹子叶化学成分研究 [J]. 广西植物, 2013, 33(5): 691-694.
- [16] Vo Q H, Nguyen P H, Zhao B T, *et al.* Protein tyrosine phosphatase 1B (PTP1B) inhibitory constituents from the aerial parts of *Tradescantia spathacea* Sw [J]. *Fitoterapia*, 2015, 103: 113-121.
- [17] Aïssaoui H, Mencherini T, Esposito T, *et al.* *Heliotropium bacciferum* forssk. (Boraginaceae) extracts: Chemical constituents, antioxidant activity and cytotoxic effect in human cancer cell lines [J]. *Nat Prod Res*, 2019, 33(12): 1813-1818.
- [18] 刘艳, 尧俊涵, 梅瑀, 等. 红景天化学成分研究 [J]. 中草药, 2024, 55(9): 2875-2886.
- [19] Yoshikawa M, Shimada H, Saka M, *et al.* Medicinal foodstuffs. V. moroheiya. (1): Absolute stereostructures of corchoionosides A, B, and C, histamine release inhibitors from the leaves of Vietnamese *Corchorus oltorius* L. (Tiliaceae) [J]. *Chem Pharm Bull*, 1997, 45(3): 464-469.
- [20] Woo E R, Piao M S. Antioxidative constituents from *Lycopus lucidus* [J]. *Arch Pharm Res*, 2004, 27(2): 173-176.
- [21] 白发平, 胡静, 吉敬, 等. 水蒸气蒸馏联合顶空进样气质联用分析夏枯草挥发油成分 [J]. 环球中医药, 2019, 12(2): 182-185.
- [22] 李诗卉, 邓静, 栗倩, 等. 夏枯草果实石油醚提取物 GC-MS 分析及抗炎活性研究 [J]. 湖南中医药大学学报, 2020, 40(6): 689-692.
- [23] Hwang Y J, Lee E J, Kim H R, *et al.* NF- κ B-targeted anti-inflammatory activity of *Prunella vulgaris* var. *lilacina* in macrophages RAW 264.7 [J]. *Int J Mol Sci*, 2013, 14(11): 21489-21503.
- [24] Heneka M T, Kummer M P, Latz E. Innate immune activation in neurodegenerative disease [J]. *Nat Rev Immunol*, 2014, 14(7): 463-477.
- [25] de Waal G M, Engelbrecht L, Davis T, *et al.* Correlative light-electron microscopy detects lipopolysaccharide and its association with fibrin fibres in Parkinson's disease, Alzheimer's disease and type 2 diabetes mellitus [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 16798.
- [26] Guo Y S, Liang P Z, Lu S Z, *et al.* Extracellular α B-crystallin modulates the inflammatory responses [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2019, 508(1): 282-288.
- [27] 王超, 张笃伟, 徐冲. 神经炎症与神经退行性疾病关系探究 [J]. 临床医药文献电子杂志, 2017, 4(4): 655.

[责任编辑 王文倩]