

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202207024

张宝, 刘佳, 匡维米, 等, 2023. 蛇含委陵菜的化学成分及抗炎活性研究 [J]. 广西植物, 43(11): 2149–2158.

ZHANG B, LIU J, KUANG WM, et al., 2023. Chemical constituents from *Potentilla kleiniana* and their anti-inflammatory activities [J]. *Guihaia*, 43(11): 2149–2158.

蛇含委陵菜的化学成分及抗炎活性研究

张 宝¹, 刘 佳¹, 匡维米^{2,3}, 蒋 礼², 李勇军^{2,3}, 李 悦^{1*}(1. 贵阳市妇幼保健院/贵阳市儿童医院 药学部, 贵阳 550003; 2. 贵州医科大学 贵州省
药物制剂重点实验室, 贵州 贵安 561113; 3. 贵州医科大学 药学院, 贵州 贵安 561113)

摘 要: 为了研究蛇含委陵菜 (*Potentilla kleiniana*) 的化学成分及其抗炎活性, 该文利用 D-101 大孔树脂、硅胶及 Toyopearl HW-40F 等色谱技术对蛇含委陵菜 60% 乙醇提取物进行分离纯化, 通过 NMR 和 HR-ESI-MS 波谱数据鉴定化合物的结构, 采用小鼠巨噬细胞 (RAW 264.7) 体外炎症模型评价化合物的抗炎活性。结果表明: (1) 从蛇含委陵菜中分离得到 15 个化合物, 分别鉴定为 2-(heptadecanoyloxy) propane-1,3-diyl distearate (**1**)、9,12,13-三羟基-10,15-十八碳二烯酸 (**2**)、9,12,13-三羟基-10,15-十八碳二烯酸甲酯 (**3**)、2,2'-氧代双(1,4-二叔丁苯) (**4**)、大黄素 (**5**)、大黄酚 (**6**)、(6R,9R)-3-酮- α -紫罗兰醇-9-O- β -D-吡喃葡萄糖苷 (**7**)、新穿心莲内酯 (**8**)、甲基- α -D-呋喃果糖苷 (**9**)、1-O- β -D-吡喃果糖- α -D-吡喃阿洛糖苷 (**10**)、对香豆酸 (**11**)、cesterosides A (**12**)、koaburaside (**13**)、荭草素 (**14**)、异荭草素 (**15**), 均首次从委陵菜属植物中分离得到。(2) 抗炎实验结果显示, 化合物 **1-3, 8, 11-15** 具有一定 NO 释放抑制活性, 其中化合物 **8** 在 25 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度下抑制率为 72.5%。该研究丰富了蛇含委陵菜的植物化学信息, 明确了脂肪酸衍生物、酚性成分及二萜类成分是其抗炎活性成分, 为蛇含委陵菜的进一步开发利用提供了理论依据。

关键词: 蛇含委陵菜, 化学成分, 分离纯化, 结构鉴定, 抗炎活性

中图分类号: Q946 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2023)11-2149-10

Chemical constituents from *Potentilla kleiniana* and their anti-inflammatory activities

ZHANG Bao¹, LIU Jia¹, KUANG Weimi^{2,3}, JIANG Li², LI Yongjun^{2,3}, LI Yue^{1*}(1. Department of Pharmacy, Guiyang Maternal and Child Healthcare Hospital & Guiyang Children's Hospital, Guiyang 550003, China;
2. Guizhou Provincial Key Laboratory of Pharmaceutics, Guizhou Medical University, Guian 561113, Guizhou, China;
3. College of Pharmacy, Guizhou Medical University, Guian 561113, Guizhou, China)

Abstract: The purpose of this paper was to investigate the chemical constituents of *Potentilla kleiniana* and their anti-inflammatory activities. The 60% ethanol extract of *P. kleiniana* were isolated by D-101 macroporous adsorptive resins,

收稿日期: 2022-09-24

基金项目: 贵州省中医药、民族医药科学技术研究专项 (QZYY-2021-176); 贵州省高层次创新人才培养计划项目 (20165677)。

第一作者: 张宝 (1993-), 硕士, 主管药师, 主要从事中药药效物质基础及质量控制研究, (E-mail) 1004800340@qq.com。

* 通信作者: 李悦, 硕士, 主任药师, 主要从事中药药效物质基础及药理学研究, (E-mail) liyue_0407@163.com。

silica gel, Toyopearl HW-40F and other methods, and their chemical structures were elucidated on the spectral data of NMR and HR-ESI-MS analysis. Meanwhile, the anti-inflammatory activities of compounds were evaluated by mouse macrophage (RAW 264.7) inflammatory model induced by lipopolysaccharide (LPS) *in vitro*. The results were as follows: (1) Fifteen compounds were isolated and identified from *P. kleiniana* as 2-(heptadecanoyloxy)propane-1,3-diyl distearate (**1**), 9,12,13-trihydroxy-10,15-octadecadienoic acid (**2**), methyl-9,12,13-trihydroxy-10,15-octadecadienoic acid (**3**), 2,2'-oxybis(1,4-di-tert-butylbenzene) (**4**), emodin (**5**), chrysophanol (**6**), (6*R*,9*R*)-3-oxo- α -ionol-9-*O*- β -D-glucopyranoside (**7**), neo-andrographolide (**8**), methyl- α -D-fructofuranosides (**9**), 1-*O*- β -D-fructofuranosyl- α -D-allopyranos (**10**), *p*-coumaric acid (**11**), cesternosides A (**12**), koaburaside (**13**), orientin (**14**), isoorientin (**15**). Compounds **1–15** were obtained from *Potentilla* genus for the first time. (2) The anti-inflammatory test results showed that compounds **1–3**, **8**, and **11–15** had moderate inhibitory activities on NO production, and the inhibition rate of compound **8** was 72.5% at the concentrations of 25 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. In conclusion, the study enriches the phytochemical information of *P. kleiniana*, and clarifies that fatty acid derivatives, phenolic components and diterpenoids are anti-inflammatory active components, which provides a theoretical basis for further exploitation of *P. kleiniana*.

Key words: *Potentilla kleiniana*, chemical constituents, isolation and purification, structural identification, anti-inflammatory activity

蛇含委陵菜(*Potentilla kleiniana*)为蔷薇科委陵菜属一年生、二年生或多年生宿根草本植物,又名五匹风、五皮风、地五甲、五爪龙等,在我国主要分布于广西、贵州、云南、四川等地(中国科学院中国植物志编辑委员会,1985;贵州省中药材、民族药材质量标准编审委员会,2003)。蛇含委陵菜味苦、性微寒,归肝、肺经,具有祛风止咳、搜风剔邪、清热解毒等功效,在贵州省苗族、布依族及侗族等少数民族地区常用于治疗肺炎、风湿关节炎等炎性疾病(罗迎春和孙庆文,2013)。目前对蛇含委陵菜的化学成分及生物活性鲜有研究,已报道的化学成分主要包括三萜类和黄酮类(黄易安,2008;李胜华等,2011),生物活性侧重于提取物的抗菌、抗炎、降糖活性筛选(李胜华等,2014;张晨光等,2018;Liu et al., 2019),其抗炎物质基础不明确。为了进一步丰富该药用植物的化学成分信息,明确其抗炎活性物质,促进其开发利用,本研究以黔产蛇含委陵菜全株为研究对象,采用现代色谱分离技术、光谱学手段及药理学方法,拟探讨:(1)蛇含委陵菜 60%乙醇提取物的化学成分;(2)分离得到的化合物的体外抗炎活性。

1 材料与仪器

1.1 材料

蛇含委陵菜药材采自贵州省贵阳市花溪区高坡乡,经贵州医科大学刘春花副教授鉴定为蔷薇科植物蛇含委陵菜(*Potentilla kleiniana*)全草(图

1)。标本保存于贵州医科大学贵州省药物制剂重点实验室,凭证号为 NO.20210416。

1.2 仪器

高分辨质谱仪(Theemo Fisher Q Exactive-Plus 四级杆-静电场轨道阱,Theemo Fisher Scientific 公司,美国);核磁共振波谱仪(Bruker AV-600 型, Bruker 公司,德国;JEOL-ECS-400 MHz 型, JEOL, 日本);旋转蒸发仪(BUCHIR-300 型, BUCHI 公司,瑞士);超纯水机(KZ-20L 型,上海科制环保设备有限公司);MCI(Chp20/P120,三菱公司,日本);D-101 大孔树脂(天津市海光化工有限公司);柱层析硅胶及硅胶 GF₂₅₄ 预制板(青岛海洋化工厂);Sephadex LH-20(Pharmacia Biotech 公司,瑞士);Toyopearl HW 40F(JEOL,日本);电热恒温培养箱(DHP-9052 型,上海一恒科学仪器有限公司)。

1.3 试剂

DMEM 高糖培养基、胎牛血清(fetal bovine serum, FBS)(Gibco 公司,美国);CCK-8 试剂盒(GlpBio 公司,美国);NO 试剂盒(南京建成生物工程研究所);脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)(北京索莱宝科技有限公司);地塞米松(上海甄准生物科技有限公司);小鼠巨噬细胞 RAW 264.7(美国模式培养物集存库,美国)。其余化学试剂均为分析纯。

2 实验方法

2.1 提取与分离

取蛇含委陵菜干燥全草 15 kg,粉碎后用乙



图 1 蛇含委陵菜标本

Fig. 1 Sample of *Potentilla kleiniana*

醇-水(60:40, V/V)回流提取3次(2、1.5、1.5 h),提取液合并后减压浓缩至浸膏(2.1 kg)。浸膏加入适量蒸馏水,超声振荡分散,经D-101大孔树脂,用乙醇-水(0:100, 50:50, 95:5, V/V)洗脱,收集各部分洗脱液,减压浓缩。其中,50%乙醇部位(428 g)经正相硅胶柱层析(硅胶:200~300目)。洗脱剂:氯仿-甲醇50:1~1:1, V/V)洗脱,得到9个组分(Fr.A~Fr.I)。

Fr.B减压浓缩并放至室温后析出少量难溶性粉末状沉淀,过滤沉淀备用,滤液经正相硅胶柱层析(硅胶:300~400目)。洗脱剂:二氯甲烷-甲醇100:1, V/V)得到Fr.B1~Fr.B3。Fr.B3经正相硅胶柱层析(硅胶:300~400目)。洗脱剂:石油醚-丙酮20:1, V/V)得到Fr.B3.1~Fr.B3.6。Fr.B3.6依次经过Sephadex LH-20(二氯甲烷-甲醇1:1, V/V)、正相硅胶(硅胶:300~400目)。洗脱剂:二氯甲烷-甲醇100:1, V/V)柱层析纯化,得化合物1(10.4 mg)、6(15.1 mg)。

Fr.C经正相硅胶柱层析(硅胶:200~300目)。洗脱剂:石油醚-乙酸乙酯20:1~1:1, V/V)梯度洗脱得到Fr.C1~Fr.C4。Fr.C2~Fr.C4经反复正相硅胶、Sephadex LH-20(二氯甲烷-甲醇1:1, V/V)、Toyopearl HW-40F(二氯甲烷-甲醇1:1, V/V)、ODS(甲醇-水80:20~95:5, V/V)柱层析纯化,最终得化合物2(11.8 mg)、3(13.2 mg)、4(2.9 mg)、5(11.3 mg)、8(6.3 mg)、11(5.3 mg)。

Fr.D经MCI柱层析,乙醇-水(30:70、40:60、50:50、60:40、70:30、80:20、90:10、100:0, V/V)梯度洗脱得到Fr.D1~Fr.D8。Fr.D2减压浓缩并放至室温后析出少量难溶性粉末状沉淀,过滤沉淀备用,滤液经正相硅胶柱层析(硅胶:300~400目)。洗脱剂:二氯甲烷-甲醇20:1, V/V)得6个组分,其中Fr.D2.3~Fr.D2.4经反复Sephadex LH-20(甲醇)、ODS(甲醇-水30:70~60:40, V/V)、Toyopearl HW-40F(甲醇)纯化,得化合物7(7.2 mg)、12(12.3 mg)。Fr.D4经正相硅胶柱层析(硅胶:300~400目)。洗脱剂:二氯甲烷-甲醇10:1~2:1, V/V)得9个组分Fr.D4.1~Fr.D4.9,其中Fr.D4.5依次经Sephadex LH-20(甲醇)、半制备HPLC(22%甲醇-水溶液)洗脱,得化合物14(3.8 mg)、15(4.1 mg)。

Fr.F经Sephadex LH-20凝胶柱色谱(甲醇)得到Fr.F1~Fr.F6,其中Fr.F2经Sephadex LH-20凝胶柱色谱(甲醇)洗脱得Fr.F2.1~Fr.F2.2。Fr.F2.2经反复正相硅胶(硅胶:300~400目)。洗脱剂:二氯甲烷-甲醇10:1~2:1, V/V)、Sephadex LH-20(甲醇)、Toyopearl HW-40F(甲醇)柱层析纯化,得化合物9(19.0 mg)、10(95.9 mg)、13(5.5 mg)。

2.2 抗炎活性测试

安全浓度考察:采用CCK-8法考察各化合物的安全浓度,分别给予不同浓度的化合物溶液作用于RAW 264.7细胞,24 h后检测细胞活力,通过细胞存活率确定化合物的安全浓度范围。

取对数生长期RAW 264.7细胞(调整细胞浓度为每毫升 3×10^5 个)接种于96孔板中,每孔100 μL ,实验设置空白对照组、模型组、地塞米松组(阳性药组)和药物组(待测化合物),每组设置3个平行孔,于培养箱中培养24 h。细胞同时用0.25 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ LPS和不同浓度梯度的待测化合物刺激24 h后,收集上清液,按照试剂盒说明书检测方法测定NO的含量,计算NO释放抑制率。

3 结果与分析

3.1 结构鉴定

化合物 **1** 白色无定型粉末,易溶于氯仿、吡啶、DMSO,难溶于甲醇、丙酮。HR-ESI-MS m/z : 899.803 5 $[M + Na]^+$ ($C_{56}H_{108}O_6Na$, 理论值: 899.803 8),结合 1H -NMR和 ^{13}C -NMR推测分子式为 $C_{56}H_{108}O_6$ 。 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) 谱显示 108 个质子信号,从低场至高场区依次为 1 个次甲基质子信号 [δ : 5.24 (1H, m, H-2)]、49 个亚甲基质子信号 [δ : 4.27 (2H, dd, $J=12.0$, 4.8 Hz, H-1a, 3a), 4.12 (2H, dd, $J=12.0$, 6.0 Hz, H-1b, 3b), 2.29 (6H, m, H-2', 2'', 2'''), 1.58 (6H, m, H-3', 3'', 3'''), 1.24 (82H, overlap, H-4'-17', 4''-16'', 4'''-17''')]、3 个甲基质子信号 [δ : 0.85 (9H, t, $J=6.8$ Hz, H-18', 17'', 18''')]。由 ^{13}C -NMR和HMQC谱推测,该结构中包含 3 个羰基碳信号 [δ : 173.3 (C-1', 1''), 172.9 (C-1'')], 2 个连氧亚甲基碳信号 [δ : 62.1 (C-1, 3)], 1 个连氧次甲基碳信号 [δ : 68.8 (C-2)], 3 个甲基碳信号 [δ : 14.1 (C-18', 17'', 18''')], 余下碳信号为亚甲基信号。该化合物的 1H -NMR和 ^{13}C -NMR数据与文献 (Abdurmumeen et al., 2017) 报道的化合物 1,2,3-propanetriyl tris (hexadecanoate) 相似,区别仅在于化合物 **1** 高场区多 5 个 $-CH_2-$ 信号。综合 HR-ESI-MS、 1H -NMR和 ^{13}C -NMR数据分析,推测化合物为 2-(heptadecanoyloxy) propane-1,3-diyl distearate。文献检索未发现 2-(heptadecanoyloxy) propane-1,3-diyl distearate 的核磁数据,通过 HMQC 和 HMBC 进一步确证该化合物的结构,具体见表 1 和图 2。HMBC 谱显示, H-1b/C-1'、H-3b/C-1''、H-1a/C-1'、H-3a/C-1''、H-1b/C-2 和 H-3b/C-2 可确证并归属甘油三脂基本骨架。H-2'、2''、2'''分别与 C-1'、1''、1'''相关, H-3'、3''、3'''分别与 C-1'、1''、1'''和 C-4'、4''、4'''相关, H-18'、17''、18'''分别与 C-17'、16''、17'''和 C-16'、15''、16'''相关 (图 3), 可确证烷烃片段的连接并归属其核磁数据。

化合物 **2** 透明油状物。HR-ESI-MS m/z : 327.217 7 $[M-H]^-$ ($C_{18}H_{31}O_5$, 理论值: 327.217 7), 分子式为 $C_{18}H_{32}O_5$ 。 1H -NMR (400 MHz, CD_3OD) δ : 5.57 (2H, m, H-10, 11), 5.41

表 1 化合物 **1** 的 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) 和 ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) 数据
Table 1 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$) and ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$) data of Compound **1**

位置 Position	δ_H	δ_C
1, 3	4.27 (2H, dd, $J=12.0$, 4.8 Hz)	62.1×2
	4.12 (2H, dd, $J=12.0$, 6.0 Hz)	—
2	5.24 (1H, m)	68.8
1', 1'''	—	173.3×2
1''	—	172.9
2'', 2', 2'''	2.29 (6H, m)	34.2, 34.0×2
3'', 3', 3'''	1.58 (6H, m)	24.9, 24.8×2
4', 4'', 4'''	1.24 (82H, overlap)	29.1×3
5', 5'', 5'''	—	29.4×3
6', 6'', 6'''	—	29.3×3
7', 7'', 7'''	—	29.7×3
8', 8'', 8'''	—	29.5×3
9'-15', 9''-14'', 9'''-15'''	—	29.7×20
16', 15'', 16'''	—	31.9×3
17', 16'', 17'''	—	22.7×3
18', 17'', 18'''	0.85 (9H, t, $J=6.8$ Hz)	14.1×3

(1H, m, H-16), 5.35 (1H, m, H-15), 3.89 (1H, dd, $J=10.8$, 6.0 Hz, H-9), 3.79 (1H, t, $J=4.8$ Hz, H-13), 3.27 (1H, m, H-12), 2.19 (1H, m, H-14a), 1.97 (2H, m, H-17), 1.92 (1H, m, H-14b), 1.88 (2H, m, H-2), 1.39 (2H, m, H-4), 1.32 (2H, m, H-8), 1.25 (2H, m, H-3), 1.21 (6H, m, H-5, 6, 7), 0.90 (3H, t, $J=7.8$ Hz, H-18); ^{13}C -NMR (100 MHz, CD_3OD) δ : 177.1 (C-1), 134.5 (C-10), 131.8 (C-15), 129.8 (C-11), 126.7 (C-16), 74.0 (C-12), 73.7 (C-13), 70.7 (C-9), 38.0 (C-2), 37.4 (C-8), 30.2 (C-14), 29.2 (C-5), 29.1 (C-6, 7), 26.3 (C-4), 24.9 (C-3), 20.2 (C-17), 14.2 (C-18)。以上数据与文献 (李帅等, 2003) 报道基本一致, 故鉴定为 9,12,13-三羟基-10,15-十八碳二烯酸。

化合物 **3** 淡黄色粉末。HR-ESI-MS m/z : 341.233 1 $[M-H]^-$ ($C_{19}H_{33}O_5$, 理论值: 341.232 3), 分子式为 $C_{19}H_{34}O_5$ 。 1H -NMR (400

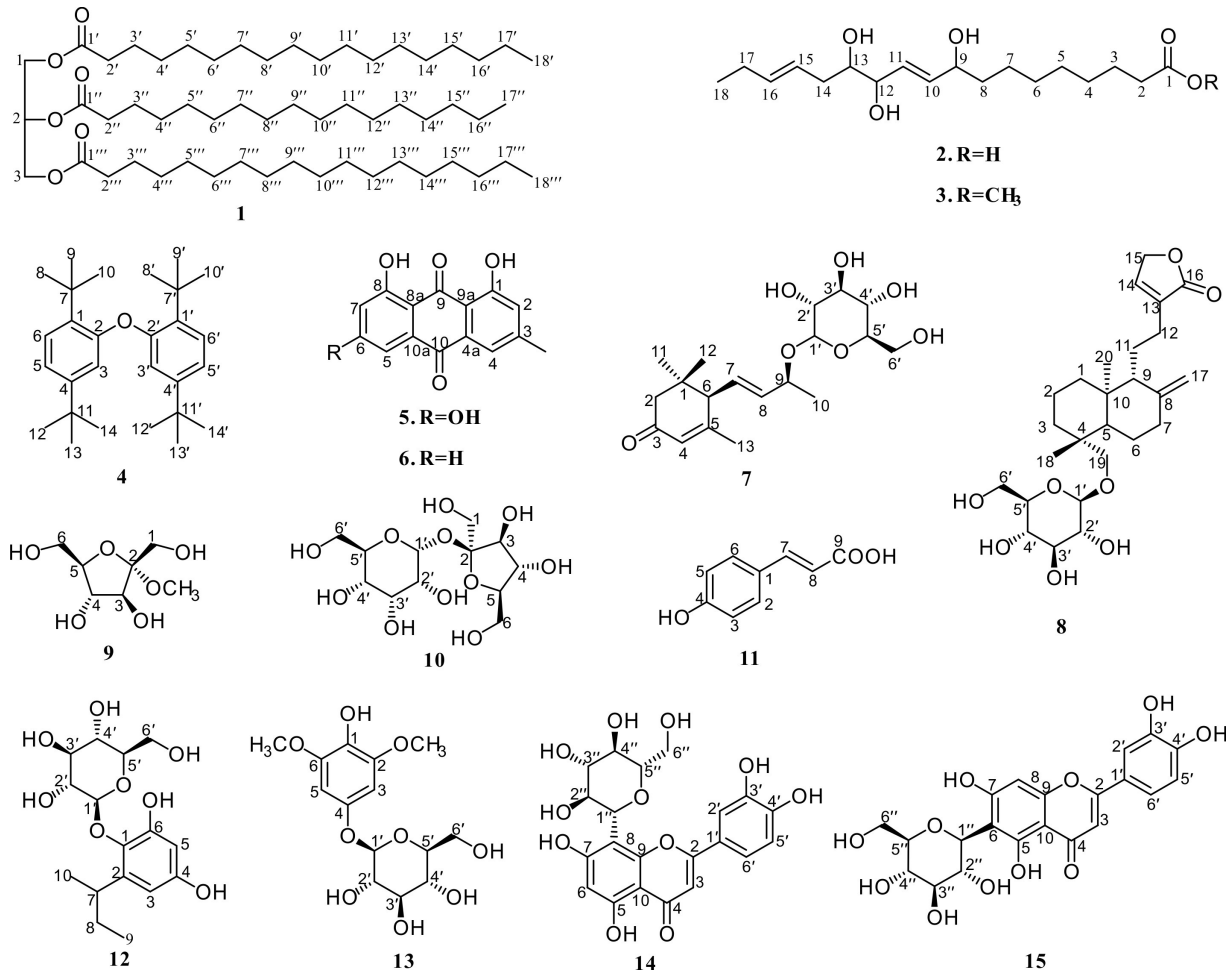


图 2 化合物 1-15 化学结构式

Fig. 2 Chemical structures of compounds 1-15

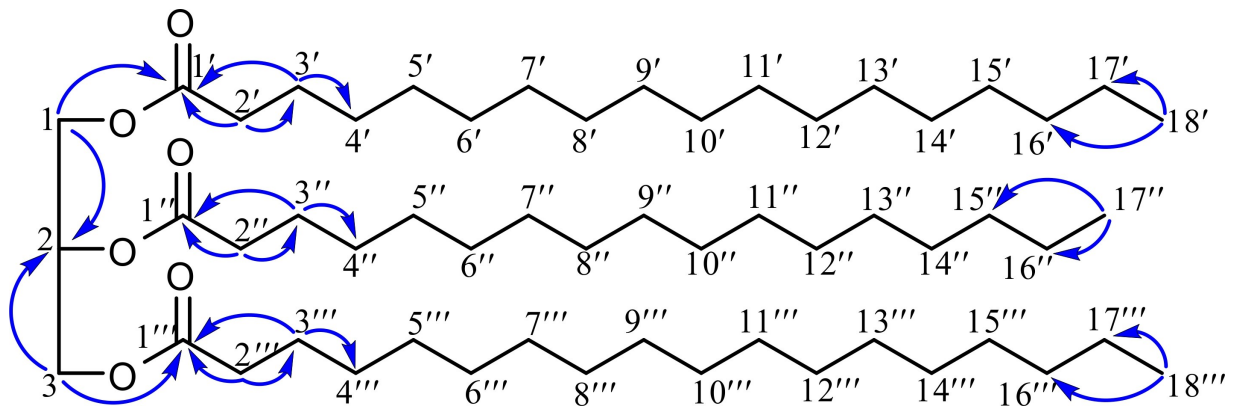


图 3 化合物 1 主要的 HMBC 相关

Fig. 3 Key HMBC correlations of Compound 1

MHz, CD₃OD) δ : 5.69 (2H, m, H-10, 11), 5.45 (2H, m, H-15, 16), 4.06 (1H, m, H-9), 3.95 (1H, m, H-12), 3.64 (3H, s, -OCH₃), 3.45 (1H, m, H-13), 2.31 (3H, m, H-2, 14a), 2.08 (3H, m, H-14b, 17), 1.59 (2H, m, H-3), 1.49 (2H, m, H-8), 1.32 (8H, s, H-4, 5, 6, 7), 0.96 (3H, t, J = 7.6 Hz, H-18); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 176.0 (C-1), 136.5 (C-10), 134.3 (C-15), 131.1 (C-11), 126.4 (C-16), 75.9 (C-12), 75.8 (C-13), 73.0 (C-9), 52.0 (-OCH₃), 38.3 (C-8), 34.8 (C-2), 31.5 (C-14), 30.6 (C-7), 30.4 (C-6), 30.2 (C-5), 26.5 (C-4), 26.0 (C-3), 21.7 (C-17), 14.6 (C-18)。以上数据与文献(杨炳友等, 2017)报道基本一致, 故鉴定为 9, 12, 13-三羟基-10, 15-十八碳二烯酸甲酯。

化合物 4 黄色油状物。HR-ESI-MS m/z : 395.331 6 [M+H]⁺ (C₂₈H₄₃O, 理论值: 395.330 8), 分子式为 C₂₈H₄₂O。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 7.45 (2H, d, J = 8.8 Hz, H-6, 6'), 7.45 (2H, d, J = 2.4 Hz, H-3, 3'), 7.21 (2H, dd, J = 8.8, 2.4 Hz, H-5, 5'), 1.33 (18H, s, H-12-14, H-12'-14'), 1.30 (18H, s, H-8-10, H-8'-10'); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 149.1 (C-2, 2'), 148.8 (C-1, 1'), 139.9 (C-4), 139.8 (C-4'), 125.9 (C-3, 3'), 125.2 (C-5, 5'), 120.0 (C-6, 6'), 35.9 (C-7, 7'), 35.5 (C-11, 11'), 31.8 (C-8-10, 8'-10'), 30.8 (C-12-14, 12'-14')。以上数据与文献(Cao et al., 2020)报道基本一致, 故鉴定为 2, 2'-氧代双(1, 4-二叔丁苯)。

化合物 5 黄色粉末。HR-ESI-MS m/z : 269.045 5 [M-H]⁻ (C₁₅H₉O₅, 理论值: 269.045 6), 分子式为 C₁₅H₁₀O₅。¹H-NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 12.03 (1H, s, 1-OH), 11.96 (1H, s, 8-OH), 11.27 (1H, s, 6-OH), 7.46 (1H, s, H-4), 7.13 (1H, s, H-2), 7.10 (1H, d, J = 2.4 Hz, H-5), 6.57 (1H, d, J = 2.4 Hz, H-7), 2.40 (3H, s, -CH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 189.6 (C-9), 181.2 (C-10), 165.5 (C-6), 164.4 (C-8), 161.4 (C-1), 148.2 (C-3), 135.0 (C-10a), 132.7 (C-4a), 124.1 (C-2), 120.4 (C-4), 113.3 (C-9a), 108.9 (C-8a), 108.7 (C-5), 107.9 (C-7), 21.5 (-CH₃)。以上数据与文献

(Kharlamova, 2007)报道基本一致, 故鉴定为大黄素。

化合物 6 黄色粉末。HR-ESI-MS m/z : 253.050 6 [M-H]⁻ (C₁₅H₉O₄, 理论值: 253.049 5), 分子式为 C₁₅H₁₀O₄。¹H-NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 7.79 (1H, dd, J = 8.4, 7.6 Hz, H-6), 7.69 (1H, dd, J = 7.6, 1.2 Hz, H-5), 7.53 (1H, d, J = 1.2 Hz, H-4), 7.37 (1H, dd, J = 8.4, 1.2 Hz, H-7), 7.20 (1H, d, J = 1.2 Hz, H-2); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ : 191.6 (C-9), 181.4 (C-10), 161.5 (C-8), 161.3 (C-1), 149.1 (C-3), 137.3 (C-6), 133.3 (C-10a), 133.0 (C-4a), 124.4 (C-2), 124.0 (C-7), 120.5 (C-4), 119.3 (C-5), 115.8 (C-8a), 113.7 (C-9a), 21.6 (-CH₃)。以上数据与文献(Zhou et al., 2006)报道基本一致, 故鉴定为大黄酚。

化合物 7 白色粉末。HR-ESI-MS m/z : 393.187 9 [M+Na]⁺ (C₁₉H₃₀O₇Na, 理论值: 393.188 4), 分子式为 C₁₉H₃₀O₇。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ : 5.87 (1H, s, H-4), 5.77 (1H, dd, J = 15.2, 6.4 Hz, H-8), 5.63 (1H, dd, J = 15.2, 9.2 Hz, H-7), 4.38 (1H, m, H-9), 3.81 (1H, dd, J = 11.6, 2.0 Hz, H-6' α), 3.65 (1H, dd, J = 11.6, 5.2 Hz, H-6' β), 2.67 (1H, d, J = 9.2, H-6), 2.42 (1H, d, J = 16.8, H-2 α), 2.04 (1H, d, J = 16.8, H-2 β), 1.93 (3H, d, J = 0.8, H-13), 1.28 (3H, d, J = 6.4, H-10), 1.00 (3H, s, H-11), 1.02 (3H, s, H-12); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ : 202.0 (C-3), 165.8 (C-5), 138.2 (C-8), 128.8 (C-7), 126.1 (C-4), 102.4 (C-1'), 78.1 (C-5'), 78.0 (C-3'), 77.0 (C-9), 75.2 (C-2'), 71.5 (C-4'), 62.7 (C-6'), 56.7 (C-6), 37.1 (C-1), 28.0 (C-12), 27.6 (C-16), 23.8 (C-13), 21.0 (C-10)。以上数据与文献(彭冰等, 2014)报道基本一致, 故鉴定为(6*R*, 9*R*)-3-酮- α -紫罗兰醇-9-*O*- β -D-吡喃葡萄糖苷。

化合物 8 白色粉末。HR-ESI-MS m/z : 503.260 7 [M+Na]⁺ (C₂₆H₄₀O₈Na, 理论值: 503.261 5), 分子式为 C₂₆H₄₀O₈。¹H-NMR (400 MHz, C₅D₅N) δ : 7.15 (1H, t, J = 1.6 Hz, H-14), 4.90 (1H, s, H-17b), 4.83 (1H, d, J = 7.6 Hz, H-1'), 4.72 (1H, s, H-17a), 4.33 (1H, d, J = 9.6 Hz, H-19b), 3.49 (1H, d, J = 9.6 Hz, H-

19a), 1.19 (3H, s, 18-CH₃), 0.64 (3H, s, 20-CH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, C₅D₅N) δ: 174.6 (C-16), 148.2 (C-8), 145.4 (C-14), 134.2 (C-13), 107.0 (C-17), 105.5 (C-1'), 78.8 (C-3'), 78.4 (C-5'), 75.4 (C-2'), 72.6 (C-19), 71.8 (C-4'), 70.6 (C-15), 62.9 (C-6'), 56.7 (C-9), 56.2 (C-5), 39.8 (C-4), 39.1 (C-1), 38.8 (C-7), 38.7 (C-10), 36.4 (C-3), 28.2 (C-18), 25.0 (C-12), 24.7 (C-6), 22.1 (C-11), 19.4 (C-12), 15.5 (C-20)。以上数据与文献(Sun et al., 2019)报道基本一致,故鉴定为新穿心莲内酯。

化合物 9 白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*: 217.068 0 [M + Na]⁺ (C₇H₁₄O₆Na, 理论值: 217.068 3), 分子式为 C₇H₁₄O₆。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ: 4.02 (1H, d, *J*=4.0 Hz, H-3), 3.88 (1H, dd, *J*=6.4, 4.4 Hz, H-4), 3.83 (1H, m, H-5), 3.73 (1H, t, *J*=3.2 Hz, H-1a), 3.69 (1H, s, H-1b), 3.62 (2H, m, H-6), 3.30 (3H, s, -OCH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ: 109.2 (C-2), 84.6 (C-5), 82.5 (C-3), 78.9 (C-4), 62.8 (C-6), 60.5 (C-1), 48.9 (-OCH₃)。以上数据与文献(尹宏权等,2006)报道基本一致,故鉴定为甲基-α-D-呋喃果糖苷。

化合物 10 白色固体。HR-ESI-MS *m/z*: 343.121 6 [M + H]⁺ (C₁₂H₂₃O₁₁, 理论值: 343.123 5), 分子式为 C₁₂H₂₂O₁₁。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ: 4.87 (1H, overlap, H-1'), 4.13 (2H, overlap, H-4, 5), 4.01 (1H, overlap, H-3), 3.90 (2H, overlap, H-2', 3'), 3.78 (2H, overlap, H-6b, 6'b), 3.74 (2H, overlap, H-4', 5'), 3.63 (1H, overlap, H-1), 3.45 (2H, overlap, H-6a, 6'a); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ: 102.8 (C-2), 99.0 (C-1'), 82.5 (C-5), 77.1 (C-4), 76.2 (C-3), 71.3 (C-2'), 70.8 (C-5'), 69.0 (C-3'), 65.5 (C-4'), 64.2 (C-1, 6'), 63.8 (C-6)。以上数据与文献(Ye et al., 2020)报道基本一致,故鉴定为 1-*O*-β-D-吡喃果糖-α-D-吡喃阿洛糖苷。

化合物 11 白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*: 163.039 1 [M-H]⁻ (C₉H₇O₃, 理论值: 163.040 1), 分子式为 C₉H₈O₃。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 7.49 (2H, d, *J*=8.4 Hz, H-3, 5), 7.47 (1H,

d, *J*=16.2 Hz, H-7), 6.79 (2H, d, *J*=8.4 Hz, H-2, 6), 6.29 (1H, d, *J*=16.2 Hz, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 168.4 (C-9), 159.6 (C-4), 143.7 (C-7), 132.0 (C-6), 130.0 (C-2), 125.4 (C-1), 115.8 (C-3, 5), 114.9 (C-8)。以上数据与文献(屈坤玥等,2020)报道基本一致,故鉴定为对香豆酸。

化合物 12 白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*: 367.135 7 [M + Na]⁺ (C₁₆H₂₄O₈Na, 理论值: 367.136 3), 分子式为 C₁₆H₂₄O₈。¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD) δ: 6.15 (1H, d, *J*=2.4 Hz, H-5), 6.13 (1H, d, *J*=2.4 Hz, H-3), 4.43 (1H, d, *J*=7.8 Hz, H-1'), 3.83 (1H, dd, *J*=12.0, 2.4 Hz, H-6'a), 3.78 (1H, dd, *J*=12.0, 4.2 Hz, H-6'b), 3.49 (2H, overlap, H-7, 4'), 3.47 (1H, overlap, H-2'), 3.42 (1H, d, *J*=9.0 Hz, H-3'), 3.24 (1H, m, H-5'), 1.58 (1H, m, H-8a), 1.50 (1H, m, H-8b), 1.08 (3H, d, *J*=7.2 Hz, H-10), 0.87 (3H, t, *J*=7.2 Hz, H-9); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD) δ: 156.1 (C-4), 151.5 (C-6), 143.9 (C-2), 138.2 (C-1), 108.2 (C-1'), 104.7 (C-3), 102.1 (C-5), 78.4 (C-5'), 78.2 (C-3'), 75.6 (C-2'), 71.0 (C-4'), 62.2 (C-6'), 33.7 (C-7), 31.5 (C-8), 22.2 (C-10), 12.6 (C-9)。以上数据与文献(Wubshet et al., 2015)报道基本一致,故鉴定为 cesternosides A。

化合物 13 白色粉末。HR-ESI-MS *m/z*: 355.099 0 [M + Na]⁺ (C₁₄H₂₀O₉Na, 理论值: 355.099 9), 分子式为 C₁₄H₂₀O₉。¹H-NMR (400 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 7.72 (1H, s, 4-OH), 6.38 (2H, s, H-2, 6), 4.67 (1H, d, *J*=7.2 Hz, H-1'), 3.71 (6H, s, 2×-OCH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 150.2 (C-4), 148.1 (C-2, 6), 130.5 (C-1), 101.6 (C-1'), 95.3 (C-3, 5), 77.0 (C-5'), 76.7 (C-3'), 73.2 (C-2'), 70.1 (C-4'), 60.8 (C-6'), 55.8 (2×-OCH₃)。以上数据与文献(Wu et al., 2013)报道基本一致,故鉴定为 koaburaside。

化合物 14 黄色粉末。HR-ESI-MS *m/z*: 471.089 0 [M + Na]⁺ (C₂₁H₂₀O₁₁Na, 理论值: 471.089 8), 分子式为 C₂₁H₂₀O₁₁。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) δ: 13.18 (1H, s, 5-OH), 7.53 (1H, d, *J*=8.4 Hz, H-6'), 7.47 (1H, s, H-2'),

6.85 (1H, d, $J=8.4$ Hz, H-5'), 6.63 (1H, s, H-3), 6.25 (1H, s, H-6), 4.68 (1H, d, $J=10.2$ Hz, H-1''); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 182.0 (C-4), 164.0 (C-2), 162.2 (C-7), 160.4 (C-5), 156.0 (C-9), 149.9 (C-4'), 145.9 (C-3'), 121.8 (C-1'), 119.4 (C-6'), 115.7 (C-5'), 114.0 (C-2'), 104.6 (C-8, 10), 102.4 (C-3), 98.2 (C-6), 82.0 (C-5''), 78.8 (C-3''), 73.4 (C-1''), 70.8 (C-2''), 70.7 (C-4''), 61.7 (C-6'')。以上数据与文献(吴洪新等,2009)报道基本一致,故鉴定为荭草素。

化合物 15 黄色粉末。HR-ESI-MS m/z : 471.089 4 $[\text{M} + \text{Na}]^+$ ($\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{11}\text{Na}$, 理论值: 471.089 8), 分子式为 $\text{C}_{21}\text{H}_{20}\text{O}_{11}$ 。 $^1\text{H-NMR}$ (600 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 13.57 (1H, s, 5-OH), 7.42 (1H, dd, $J=8.4, 2.4$ Hz, H-6'), 7.40 (1H, d, $J=2.4$ Hz, H-2'), 6.89 (1H, d, $J=8.4$ Hz, H-5'), 6.68 (1H, s, H-3), 6.48 (1H, s, H-8), 4.58 (1H, d, $J=9.6$ Hz, H-1''); $^{13}\text{C-NMR}$ (150 MHz, $\text{DMSO-}d_6$) δ : 181.9 (C-4), 163.7 (C-2), 163.3 (C-7), 160.7 (C-5), 156.2 (C-9), 149.7 (C-4'), 145.8 (C-3'), 121.4 (C-1'), 119.0 (C-6'), 116.1 (C-5'), 113.3 (C-2'), 108.9 (C-6), 103.4 (C-10), 102.8 (C-3), 93.5 (C-8), 81.6 (C-5''), 79.0 (C-3''), 73.0 (C-1''), 70.6 (C-2''), 70.2 (C-4''), 61.5 (C-6'')。以上数据与文献(吴洪新等,2009)报道基本一致,故鉴定为异荭草素。

3.2 抗炎活性测试结果

CCK-8 细胞毒性测试结果显示,化合物 **1-4**、**6-15**在 $25\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,以及化合物 **5** 在 $12.5\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时无明显毒性,故选择相应浓度下进行 NO 抑制活性实验。由表 2 可知,化合物 **1-3**(脂肪酸及其衍生物)、化合物 **8**(二萜类)、化合物 **11-15**(酚类)显示出一定的 NO 释放抑制活性,表明这些成分具有一定的抗炎活性,可能是蛇含委陵菜抗炎活性物质。

4 讨论与结论

蛇含委陵菜是贵州苗族、侗族等少数民族习用药材,主要用于风湿性关节炎、乳腺炎、肺炎等疾病的治疗。目前,蛇含委陵菜的化学成分及其抗炎活性研究较少。本研究从蛇含委陵菜 60%乙醇提取

表 2 化合物 **1-15** 的 NO 释放抑制率
(平均值 $\pm$ 标准差, $n=3$)

Table 2 NO production inhibition rates of compounds **1-15**($\bar{x}\pm s$, $n=3$)

化合物 Compound	浓度 Concentration ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	抑制率 Inhibition rate (%)
1	25	50.3 $\pm$ 2.1
2	25	56.2 $\pm$ 1.3
3	25	58.6 $\pm$ 1.5
4	25	18.9 $\pm$ 2.5
5	12.5	10.8 $\pm$ 1.8
6	25	25.5 $\pm$ 3.1
7	25	28.3 $\pm$ 2.3
8	25	72.5 $\pm$ 2.7
9	25	12.2 $\pm$ 2.9
10	25	18.5 $\pm$ 2.5
11	25	58.0 $\pm$ 1.6
12	25	63.8 $\pm$ 1.1
13	25	66.4 $\pm$ 1.3
14	25	62.5 $\pm$ 1.2
15	25	55.0 $\pm$ 1.9
地塞米松 Dexamethasone	25	81.5 $\pm$ 1.2

物中分离得到 15 个化合物,均为首次从委陵菜属植物中分离得到,包括脂肪酸衍生物(**1-3**)、二苯醚类化合物(**4**)、蒽醌类化合物(**5、6**)、萜类化合物(**7、8**)、苯丙素类化合物(**11**)、酚苷类化合物(**12、13**)、黄酮苷类化合物(**14、15**)及其他(**9、10**)。

脂多糖可诱导巨噬细胞 NF- κ B 信号通路的激活,从而促进炎症因子的释放和 NO 的合成,而 NO 又与 AMPK/ NF- κ B、TLR/ NF- κ B 等通路的调节密切相关(安莉和孙丕忠,2020)。因此,本研究采用 LPS 诱导的小鼠巨噬细胞(RAW 264.7)体外炎症模型,通过测定 NO 释放抑制率来评价化合物的抗炎活性。抗炎结果表明,化合物 **1-3**(脂肪酸及其衍生物)、化合物 **8**(二萜类)、化合物 **11-15**(酚性成分)具有一定的抗炎活性,其中新穿心莲内酯(**8**)在 $25\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓度下抑制率为 72.5%。据文献报道,十八碳烷酸及其衍生物大多具有较好的抗炎活性(张俊卿等,2021),化合物 **1-3**可能通过参与 NF- κ B 激活的调节、影响膜磷脂组成和脂质

微结构域功能的改变来产生抗炎作用,因此反相调节 NO 释放(Allijn et al., 2019)。新穿心莲内酯(8)对 NO 释放具有显著的抑制作用,其可能通过清除 NO 自由基,阻断信号传递而产生抗炎作用(刘峻和王峥涛,2005),因此提示该化合物具有抗炎及免疫调节作用且有作为抗炎先导化合物进行结构修饰的潜在价值。荭草素(14)和异荭草素(15)能够有效减少 LPS 诱导的炎症因子释放(NO、TNF- α 以及 IL-1 β),抑制 MAPK 家族激酶及 NF- κ B 等上游信号通路相关蛋白活化,降低促炎症因子的表达,从而抑制炎症反应(罗成等,2016;王思琦等,2018)。由此可见,各类物质的抗炎作用机制不尽相同,可能通过多成分协同发挥抗炎作用。

本研究进一步丰富了蛇含委陵菜的植物化学信息及化合物结构类型,明确了脂肪酸衍生物、二萜及酚性成分是其潜在的抗炎物质,为深入探索蛇含委陵菜的化学成分及抗炎机制奠定了基础,也为该药用植物的进一步开发利用提供科学依据。

参考文献:

- ABDULMUMEEN AH, OLAPÉJU OA, FATIMA K, et al., 2017. Isolation, characterization and antiproliferative evaluation of constituents from stem extracts of *Alafia barteri* Oliv. Hook. F. [J]. Med Chem Res, 26(12): 3407–3416.
- ALLIJN IE, BRINKHUIS P, STORM G, et al., 2019. Anti-inflammatory properties of plant derived natural products — a systematic review [J]. Curr Med Chem, 26(24): 4506–4536.
- AN L, SUN PZ, 2020. Effects of artemisinin on activation of NF- κ B signaling pathway and NO synthesis in mouse macrophages induced by LPS [J]. J Zhengzhou Univ (Med Sci), 55(4): 504–508. [安莉, 孙丕忠, 2020. 青蒿素对脂多糖诱导的小鼠巨噬细胞 NF- κ B 信号通路激活和 NO 合成的影响 [J]. 郑州大学学报(医学版), 55(4): 504–508.]
- CAO J, YANG JN, ZHOU XQ, et al., 2020. Chemical constituents of *Psychotria hainanensis* [J]. Chem Nat Compd, 56(3): 533–534.
- Editorial Committee of Quality Standard of Guizhou Traditional Chinese Medicine and Ethnic Medicine, 2003. Quality standards for Chinese medicinal materials and ethnic medicinal materials in Guizhou Province [S]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press; 85. [贵州省中药材、民族药材质量标准编审委员会, 2003. 贵州省中药材、民族药材质量标准 [S]. 贵阳: 贵州科技出版社: 85.]
- Editorial Committee of Flora Reipublicae Popularis Sinicae, CAS, 1985. Flora Reipublicae Popularis Sinicae: Vol. 37 [M]. Beijing: Science Press: 315. [中国科学院中国植物志编辑委员会, 1985. 中国植物志: 第 37 卷 [M]. 北京: 科学出版社: 315.]
- HUANG YA, 2008. Studies on chemical constituent and antibacterial activity of *Potentilla kleiniana* Wight. et Arn. [D]. Guiyang: Guizhou University. [黄易安, 2008. 蛇含委陵菜的化学成分及抑菌活性研究 [D]. 贵阳: 贵州大学.]
- KHARLAMOVA TV, 2007. Reaction of frangula-emodin with α -bromoalkylmethylketones [J]. Chem Nat Compd, 43(4): 391–394.
- LUO YC, SUN QW, 2013. Natural medicines commonly used in Guizhou: Vol. 2 [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press: 82–83. [罗迎春, 孙庆文, 2013. 贵州民族常用天然药物: 第 2 卷 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社: 82–83.]
- LI SH, WU XJ, NIU YY, et al., 2011. Chemical constituents in *Potentilla kleiniana* [J]. Chin Trad Herb Drugs, 42(11): 2200–2203. [李胜华, 伍贤进, 牛友芽, 等, 2011. 蛇含委陵菜化学成分研究 [J]. 中草药, 42(11): 2200–2203.]
- LI SH, WU XJ, ZENG JY, et al., 2014. Antihyperglycemic effect of total flavonoids from *Potentilla kleiniana* Wight et Arn. *in vitro* and *in vivo* [J]. Food Sci, 35(11): 246–250. [李胜华, 伍贤进, 曾军英, 等, 2014. 蛇含委陵菜总黄酮的体外和体内降血糖效果研究 [J]. 食品科学, 35(11): 246–250.]
- LI S, KUANG HX, OKADA Y, et al., 2003. Studies on chemical constituents of *Bidens bipinnata* (I) [J]. Chin Trad Herb Drugs, 34(9): 782–785. [李帅, 匡海学, 冈田嘉仁, 等, 2003. 鬼针草化学成分的研究(I) [J]. 中草药, 34(9): 782–785.]
- LIU MZ, HUANG XQ, LIU Q, et al., 2019. Separation of α -glucosidase inhibitors from *Potentilla kleiniana* Wight et Arn. using solvent and flow-rate gradient high-speed counter-current chromatography target-guided by ultrafiltration HPLC-MS screening [J]. Phytochem Anal, 30(6): 661–668.
- LIU J, WANG ZT, 2005. Effect of neoandrographolide on activated mouse macrophages *in vitro* [J]. Chin J Nat Med, 3(5): 308–311. [刘峻, 王峥涛, 2005. 新穿心莲内酯对体外活化小鼠巨噬细胞的影响 [J]. 中国天然药物, 3(5): 308–311.]
- LIU T, LIAO XF, WU YT, et al., 2021. Research progress on anti-inflammatory effective components and mechanism of *Artemisiae argyi* folium [J]. Trad Chin Drug Res Clin

- Pharmacol, 32(3): 449–454. [刘涛, 廖晓凤, 吴燕婷, 等, 2021. 艾叶有效成分抗炎作用及其机制的研究进展 [J]. 中药新药与临床药理, 32(3): 449–454.]
- LUO C, LI Y, LONG JG, et al., 2016. Pharmacological effects of isoorientin [J]. Space Med Med Eng, 29(5): 381–384. [罗成, 李艳, 龙建纲, 等, 2016. 异荭草素的药理作用 [J]. 航天医学与医学工程, 29(5): 381–384.]
- PENG B, GAO ZP, HE W, et al., 2014. A new chromone glycoside from *Dryopteris fragrans* (II) [J]. Chin Trad Herb Drugs, 45(15): 2136–2138. [彭冰, 高增平, 何薇, 等, 2014. 香鳞毛蕨中 1 个新的色原酮苷(II) [J]. 中草药, 45(15): 2136–2138.]
- QU SY, WEI XD, SAI M, et al., 2020. Chemical constituents from *Rhodiola crenulate* [J]. Chin Trad Pat Med, 42(12): 3199–3023. [屈坤玥, 魏小东, 赛曼, 等, 2020. 大花红景天化学成分的研究 [J]. 中成药, 42(12): 3199–3023.]
- SUN XW, YAN HJ, ZHANG YJ, et al., 2019. Preparative separation of diterpene lactones and flavones from *Andrographis paniculate* using off-line two-dimensional high-speed counter-current chromatography [J]. Molecules, 24(3): 620.
- WAN SQ, LIU LY, LIU MS, et al., 2018. A study on the pharmacological mechanism of orientin [J]. J Med Res, 47(6): 183–186. [万思琦, 刘立亚, 刘梦思, 等, 2018. 荭草苷的药理作用机制研究 [J]. 医学研究杂志, 47(6): 183–186.]
- WUBSHET SG, BRIGHENTE IMC, MOADDEL R, et al., 2015. Magnetic ligand fishing as a targeting tool for HPLC-HRMSSPE-NMR: α -glucosidase inhibitory ligands and alkylresorcinol glycosides from *Eugenia catharinae* [J]. J Nat Prod, 78(11): 2657–2665.
- WU Q, BANG MH, CHO JG, et al., 2013. Phenolic compounds from the roots of *Brassica rapa* ssp. *campestris* [J]. Chem Nat Compd, 49(5): 852–856.
- WU HX, WEI XY, FENG SX, et al., 2009. A study on the flavonoids of *Lespedeza hedysaroides* [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 29(9): 1905–1908. [吴洪新, 魏孝义, 冯世秀, 等, 2009. 尖叶胡枝子黄酮类化学成分的研究 [J]. 西北植物学报, 29(9): 1905–1908.]
- YANG BY, LU ZK, LIU Y, et al., 2017. Isolation and identification of chemical constituents from stems of *Datura metel* [J]. Chin J Exp Trad Med Form, 23(17): 34–40. [杨炳友, 卢震坤, 刘艳, 等, 2017. 洋金花茎化学成分的分离鉴定 [J]. 中国实验方剂学杂志, 23(17): 34–40.]
- YIN HQ, FU HW, HUA HM, et al., 2006. Chemical constituents of *Saussurea lappa* C. B Clarke [J]. J Shenyang Pharm Univ, 23(10): 641–643. [尹宏权, 付红伟, 华会明, 等, 2006. 云木香的化学成分 [J]. 沈阳药科大学学报, 23(10): 641–643.]
- YE C, JIN M, JIN CS, et al., 2020. Inhibitory effects of chemical constituents from *Actinidia kolomikta* on LPS-induced inflammatory responses [J]. Rev Bras Farmacogn, 30(1): 127–131.
- ZHOU X, SONG BA, JIN LH, et al., 2006. Isolation and inhibitory activity against ERK phosphorylation of hydroxyanthraquinones from rhubarb [J]. Bioorg Med Chem Lett, 16(3): 563–568.
- ZHANG CG, ZHOU J, WANG S, et al., 2018. Anti-inflammatory and antibacterial activity of *Potentilla kleiniana* ethyl alcohol extractive [J]. Cent S Pharm, 16(11): 1547–1552. [张晨光, 周晶, 王珊, 等, 2018. 蛇含委陵菜乙醇提取物的抗炎及抑菌活性研究 [J]. 中南药学, 16(11): 1547–1552.]
- ZHANG JQ, LI JK, WANG Y, et al., 2021. Steroids constituents from *Codonopsis pilosula* and their anti-inflammatory activities [J]. Chin Trad Pat Med, 43(1): 92–97. [张俊卿, 李建宽, 王妍, 等, 2021. 潞党参甾体类成分及其抗炎活性 [J]. 中成药, 43(1): 92–97.]

(责任编辑 周翠鸣)