

丝叶蓍的化学成分研究

郭鑫鑫¹, 段江婧¹, 薛金凤^{1*}, 支燕乐^{1,2}, 袁雨洁³, 杨惠颖¹, 陈 辉¹, 杜 锐¹, 冯卫生¹, 薛贵民^{1,2*}

1. 河南中医药大学药学院, 河南 郑州 450046

2. 豫药全产业链研发河南省协同创新中心河南省中药开发工程技术中心, 河南 郑州 450046

3. 河南中医药大学管理科大联合学院, 河南 郑州 450046

摘要: 目的 研究丝叶蓍 *Achillea setacea* 全草的化学成分。方法 采用 MCI、LH-20 凝胶色谱柱、ODS、硅胶和 pre-HPLC 等方法将进行化合物分离和纯化, 运用波谱技术和结合文献解析化合物结构。采用构建脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的 RAW264.7 细胞体外炎症模型的方法, 对分离得到的化合物进行体外抗炎活性评价。结果 从丝叶蓍二氯甲烷部位分离得到 19 个化合物, 包括 15 个倍半萜、1 个单萜、1 个降倍半萜衍生物和 2 个黄酮类化合物, 分别鉴定为 (3*S*, 3*aS*, 6*E*, 9*S*, 10*E*, 11*aS*)-cyclodeca[b]furan-2(3*H*)-one, 3*a*, 4, 5, 8, 9, 11*a*-hexahydro-9-hydroxy-3, 6, 10-trimethyl (1)、desacetylherbohde A (2)、millefoliumon D (3)、sintenin (4)、millefoliumon C (5)、achigermalide D (6)、去乙酰氧母菊素 (7)、蓍素 (8)、8β-hydroxyachillin (9)、脱氢去乙酰氧母菊素 (10)、母菊内酯酮 (11)、achisecogunolide F (12)、1, 10β-环氧蓍素 (13)、1β-hydroxy-acyperone (14)、millefoliumin A (15)、黑麦草内酯 (16)、saniculamoid D (17)、泽兰黄素 (18)、紫花牡荆素 (19)。结论 化合物 3、5、13、17 为首次从该属植物中分离得到, 化合物 6~12、14~16 为首次从丝叶蓍中分离得到。化合物 1~19 的体外抗炎活性筛选结果显示, 化合物 13 和 18 能显著降低 LPS 诱导的 RAW264.7 小鼠巨噬细胞中 NO 的释放, 其半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 值分别为 19.93、13.91 μmol/L。

关键词: 菊科; 丝叶蓍; 倍半萜; 抗炎; 1, 10β-环氧蓍素; 黑麦草内酯; 泽兰黄素

中图分类号: R284.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2025)11-3798-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.11.003

Chemical constituents from *Achillea setacea*

GUO Xinxin¹, DUAN Jiangjing¹, XUE Jinfeng¹, ZHI Yanle^{1,2}, YUAN Yujie³, YANY Huiying¹, CHEN Hui¹, DU Kun¹, FENG Weisheng¹, XUE Guimin^{1,2}

1. School of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

2. Collaborative Innovation Center of Research and Development on the Whole Industry Chain of Yu-Yao, Zhengzhou 450046, China

3. Management Science Joint College, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

Abstract: Objective To study the chemical constituents from the whole plant of *Achillea setacea*. **Methods** The extract from *A. setacea* was isolated and purified by MCI, Sephadex LH-20, ODS, silica gels and preparative HPLC. Their structures were identified by spectral analysis combined with literature. The model of LPS-induced RAW264.7 cells was applied to screen the anti-inflammatory activity of isolates. **Results** Nineteen compounds, including fifteen sesquiterpenes, a monoterpene, a norsesquiterpene, derivative and two flavonoids have been isolated from the dichloromethane extract of *A. setacea*, and they were identified as (3*S*, 3*aS*, 6*E*, 9*S*, 10*E*, 11*aS*)-cyclodeca[b]furan-2(3*H*)-one, 3*a*, 4, 5, 8, 9, 11*a*-hexahydro-9-hydroxy-3, 6, 10-trimethyl (1), desacetylherbohde A (2), millefoliumon D (3), sintenin (4), millefoliumon C (5), achigermalide D (6), leucodin (7), achillin (8), 8β-hydroxyachillin (9), desacetylmatricarin (10), matricarin (11), achisecogunolide F (12), 1, 10β-epoxyachillin (13), 1-hydroxy-acyperone (14), millefoliumin

收稿日期: 2025-03-19

基金项目: 河南省优秀青年科学基金项目 (252300421137); 河南省科技研发计划联合基金 (优势学科培育类) 项目 (242301420109); 河南省科技攻关项目 (242102310520); 河南省高等学校重点科研项目 (25A360024); 大学生创新训练计划项目 (202410471008)

作者简介: 郭鑫鑫 (1998—), 硕士研究生, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: 18239440809@163.com

***通信作者:** 薛金凤 (1987—), 实验师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: xuejinfeng8804@126.com

薛贵民 (1988—), 副教授, 硕士生导师, 研究方向为中药药效物质基础。E-mail: xueguimin123@126.com

A (15), loliolide (16), saniculamoid D (17), eupatorin (18), casticin (19). **Conclusion** Compounds 3, 5, 13 and 17 are isolated from *Achillea* genus for the first time. Compounds 6—12 and 14—16 were isolated from *Achillea setacea* for the first time. Compounds 1—19 were screened for anti-inflammatory activities *in vitro*. Compounds 13 and 18 significantly reduced the release of NO and inhibited the secretion of inflammatory mediators in LPS-stimulated RAW264.7 macrophages cells, Compounds 13 and 18 exhibited the inhibitory effects on LPS-stimulated RAW264.7 macrophages cells with median inhibition concentration (IC₅₀) values of 19.93, 13.91 $\mu\text{mol/L}$, respectively.

Key words: Compositae; *Achillea setacea* Waldst. et Kit.; sesquiterpenoid; anti-inflammatory activity; 1,10 β -epoxyachillin; loliolide; eupatorin

菊科 (Compositae) 属 *Achillea* L. 植物为多年生草本植物, 全世界约有 200 种, 广泛分布于北美洲、欧洲、非洲北部、俄罗斯、伊朗、蒙古及印度尼西亚等地^[1]。中国属植物有 10 种, 分别为丝叶蓍、云南蓍和高山蓍等, 大部分分布于我国新疆、云南等西北部地区^[2]。丝叶蓍 *Achillea setacea* Waldst. et Kit. 又名西洋蓍草、从叶蓍, 为菊科蓍属多年生草本植物。

丝叶蓍作为中草药, 使用历史悠久, 始载于《神农本草》, 冠名以蓍实, 列为上品, 其在历代本草皆有记载。炎症是机体对于刺激的一种防御性反应, 主要表现为红、肿、热和疼, 而丝叶蓍味苦、酸、平, 归肺、脾、膀胱经, 具有解毒利湿、活血化瘀的功能^[3], 对炎症具有良好的缓解和治疗作用。迄今为止丝叶蓍中只有少量的倍半萜、黄酮以及酰胺类成分被报道^[4-5], 对丝叶蓍的化学成分和药理活性却缺少系统性研究。据文献报道, 大多数倍半萜类化合物在抗炎方面具有良好的前景, 例如 Mohamed 等^[4]对西洋蓍草的氯仿/甲醇提取液进行分离, 得到了 2 个具有良好抗炎活性的倍半萜类化合物, 而蓍属植物中所含的倍半萜结构丰富多样, 因此为了进一步研究蓍属植物中丝叶蓍的药效物质基础, 发现更好的天然抗炎活性产物, 本课题组通过二氯甲烷冷浸的方法对丝叶蓍中的倍半萜成分进行提取分离, 并构建脂多糖 (LPS) 诱导的 RAW264.7 小鼠巨噬细胞体外炎症模型, 测定单体化合物对一氧化氮 (NO) 释放的抑制作用。从丝叶蓍二氯甲烷部位中分离得到 19 个化合物 (图 1), 包括 15 个倍半萜、1 个单萜、1 个降倍半萜衍生物和 2 个黄酮类化合物, 鉴定为 (3*S*,3*aS*,6*E*,9*S*,10*E*,11*aS*)-cyclodeca[b]furan-2(3*H*)-one,3*a*,4,5,8,9,11*a*-hexahydro-9-hydroxy-3,6,10-trimethyl (1)、desacetyl herbohde A (2)、millefoliumon D (3)、sintenin (4)、millefoliumon C (5)、achigermalide D (6)、去乙酰氧母菊素 (leucodin, 7)、蓍素 (achillin, 8)、8 β -hydroxyachillin

(9)、脱氢去乙酰氧母菊素 (desacetoxymatricarin, 10)、母菊内酯酮 (matricarin, 11)、achisecogunolide F (12)、1,10 β -环氧蓍素 (1,10 β -epoxyachillin, 13)、1 β -hydroxy-acyperone (14)、millefoliumin A (15)、黑麦草内酯 (loliolid, 16)、saniculamoid D (17)、泽兰黄素 (eupatorin, 18)、紫花牡荆素 (casticin, 19)。化合物 3、5、13、17 为首次从该属植物中分离得到, 化合物 6~12、14~16 为首次从丝叶蓍中分离得到。化合物 1~19 进行体外抗炎活性的测定, 结果显示, 化合物 13 和 18 具有显著的抗炎活性。

1 仪器与材料

Bruker Avance III 500 MHz 型核磁共振仪 (德国 Bruker 公司); ripieTOF6600 型高效液相色谱-四级杆飞行时间高分辨质谱 (AB SCIEX); 高压制备液相色谱仪赛谱锐思 LC50 型 (北京赛谱锐思科技有限公司); Agilent 1260 Infinity II LC 高效液相色谱仪 (美国安捷伦公司); 旋转蒸发仪 N-1000 型 (上海爱朗仪器有限公司); GF₂₅₄ 硅胶薄层板 (青岛海洋化工有限公司); ODS gel (日本 TOSOH 公司); SMB MCI GEL (北京赛普锐思科技有限公司); RP₁₈ 柱色谱填料 (12 nm, 粒径 50 μm , 日本 YMC 公司); 色谱纯乙腈 (德国 Merck 公司); 分析甲醇和色谱甲醇试剂 (天津四友精细化学品有限公司); N^G-单甲基-L-精氨酸醋酸盐 (L-NMMA, 批号 S0011, 碧云天生物技术有限公司); 小鼠单核巨噬细胞 (RAW264.7, 武汉普诺赛公司); DMEM 高糖培养基和胎牛血清 (FBS) (武汉普诺赛公司); PBS 缓冲液和二甲基亚砷 (北京 Solarbio 公司); 四甲基偶氮唑盐 (MTT, 北京 Solarbio 公司); 青链霉素混合液 (北京 Solarbio 公司); 96 孔细胞培养板 (美国 Costar 公司); NO 一步法试剂盒 (上海碧云天公司); 脂多糖 (LPS, Sigma 公司)。

丝叶蓍于 2021 年 5 月采自云南省昆明市, 经海南中医药大学药学院董诚明教授鉴定为菊科植物

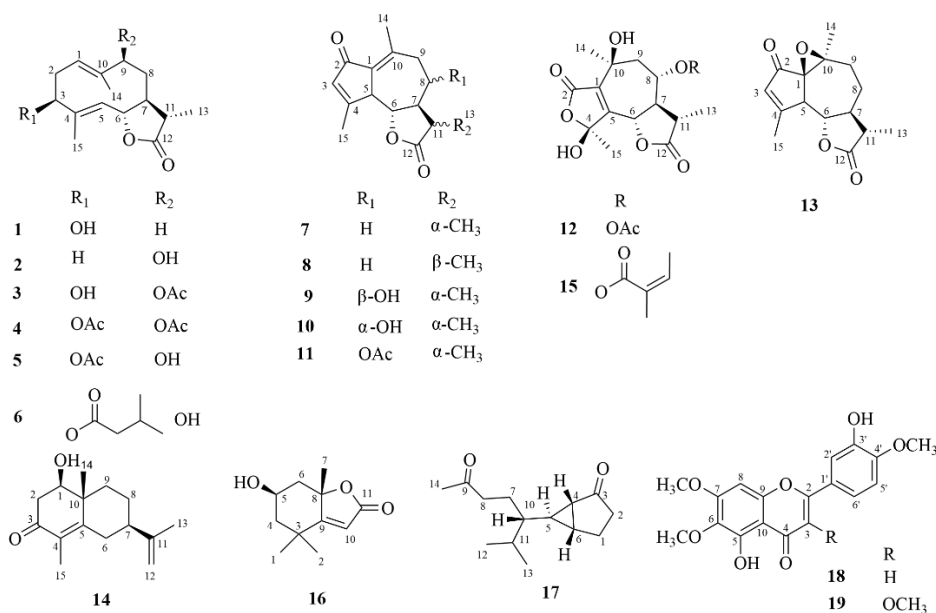


图1 化合物1~19的结构

Fig. 1 Structures of compounds 1—19

丝叶蓼 *A. setacea* Waldst.。凭证样本(202108)存放于河南中医药大学中药化学研究室。

2 提取与分离

丝叶蓼干燥全草(5.0 kg),二氯甲烷常温下冷浸3次,每次48 h。合并滤液,用旋转蒸发器减压浓缩后,得总浸膏80.0 g。过MCI色谱柱:聚酰胺与总浸膏1:1混合均匀,依次用10%、30%、60%、80%、100%甲醇-水进行梯度洗脱,得到5个组分(A~E)。本实验以A和B 2部位进行研究。以甲醇为流动相,将A(60%)组分过SephadexLH-20凝胶柱,进行成分富集,共得到5个组分(AN1~AN5)。

根据分析液相结果,对AN2组分进行ODS色谱柱处理,以甲醇-水(1:9~9:1)梯度洗脱,共得37个组分(AN2ODS1~AN2ODS37)。样品AN2ODS3经半制备液相色谱(22%乙腈-水),得到化合物9($t_R=54.3$ min, 5.00 mg)和10($t_R=56.8$ min, 7.20 mg)。样品AN2ODS16经半制备液相色谱(0~50 min, 37%~72%乙腈-水),经纯化后得化合物1($t_R=43.4$ min, 26.47 mg)、3($t_R=32.0$ min, 2.60 mg)、7($t_R=41.2$ min, 1.65 mg)、8($t_R=38.2$ min, 28.60 mg)、11($t_R=38.9$ min, 4.67 mg)、15($t_R=44.5$ min, 4.67 mg)。根据分析液相结果,合并样品AN2ODS17~AN2ODS19,经半制备液相(57%甲醇-水)得到化合物5($t_R=11.2$ min, 1.44 mg)和17($t_R=26.3$ min, 2.25 mg)。样品AN2ODS25和

AN2ODS26合并后经半制备液相(60%甲醇-水)得到化合物4($t_R=36.2$ min, 5.98 mg)。将样品AN2ODS4~AN2ODS15合并,与硅胶等比拌样,以石油醚-醋酸乙酯(50:1~0:1)为流动相过硅胶柱,得到9个组分(AN2O415-1~AN2O415-9)。样品AN2O415-4和AN2O415-5经半制备液相色谱(30%~70%乙腈),得化合物13($t_R=27$ min, 3.86 mg)和16($t_R=18.5$ min, 6.18 mg)。样品AN2O415-6经半制备液相色谱(25%~70%乙腈),得化合物2($t_R=18.8$ min, 2.97 mg)。样品AN2ODS30~AN2ODS37合并过硅胶柱,流动相为石油醚-醋酸乙酯,得到10个组分(AN2O307-1~AN2O307-10)。样品AN2O307-3和AN2O307-5合并后经半制备液相色谱(41%乙腈-水)得化合物6($t_R=51.0$ min, 1.24 mg)和14($t_R=58.6$ min, 3.95 mg)。

根据分析液相结果,对B组分采用ODS色谱柱进行初步分离,以甲醇-水(1:9~9:1)为流动相进行梯度洗脱,得10个组分(BODS1~BODS10)。将样品BODS7、BODS8和BODS9合并后经半制备液相色谱(20%乙腈-水)得化合物12($t_R=29.9$ min, 2.02 mg)。组分C结合SephadexLH-20凝胶柱和半制备液相色谱(50%~100%甲醇-水),得化合物18($t_R=18.6$ min, 1.31 mg)和19($t_R=20.3$ min, 1.31 mg)。

3 结构鉴定

化合物1:无色油状物,易溶于氯仿和甲醇,

HR-ESI-MS m/z : 251.162 3 $[M+H]^+$ (计算值 251.164 2), 分子式为 $C_{15}H_{22}O_3$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 4.85 (1H dd, $J=11.5, 3.5$ Hz, H-1), 2.25 (2H, m, H-2), 4.22 (1H, dd, $J=10.5, 6.0$ Hz, H-3), 4.67 (1H, d, $J=10.0$ Hz, H-5), 4.59 (1H, m, H-6), 2.35 (1H m, H-7), 1.60 (1H, m, H-8a), 1.97 (1H, m, H-8b), 2.22 (1H, m, H-9a), 1.84 (1H, m, H-9b), 2.41 (1H, m, H-11), 1.24 (1H, d, $J=7.0$ Hz, H-13), 1.44 (3H, s, H-14), 1.70 (3H, s, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 125.2 (C-1), 35.1 (C-2), 78.1 (C-3), 142.3 (C-4), 124.1 (C-5), 81.3 (C-6), 54.4 (C-7), 28.4 (C-8), 41.1 (C-9), 137.6 (C-10), 42.3 (C-11), 179.1 (C-12), 13.2 (C-13), 16.3 (C-14), 11.8 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[6], 故鉴定化合物 **1** 为 (3*S*,3*aS*,6*E*,9*S*,10*E*,11*aS*)-cyclodeca[b]furan-2(3*H*)-one,3*a*,4,5,8,9,11*a*-hexahydro-9-hydroxy-3,6,10-trimethyl。

化合物 **2**: 白色粉末, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 251.162 3 $[M+H]^+$ (计算值 251.164 2), 分子式 $C_{15}H_{22}O_3$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 4.87 (1H dd, $J=12.0, 4.0$ Hz, H-1), 2.42 (1H, m, H-2a), 2.37 (1H, m, H-2b), 2.13 (1H, m, H-3a), 2.01 (1H, m, H-3b), 4.71 (1H, d, $J=10.0$ Hz, H-5), 4.79 (1H, t, $J=10.0$ Hz, H-6), 2.25 (1H, dt, $J=14.0, 6.0$ Hz, H-7), 1.79 (1H, m, H-8a), 1.59 (1H, m, H-8b), 4.24 (1H, dd, $J=10.0, 6.0$ Hz, H-9), 2.67 (1H, d, $J=8.0$ Hz, H-11), 1.23 (3H, d, $J=8.0$ Hz, H-13), 1.43 (3H, s, H-14), 1.72 (3H, s, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 129.2 (C-1), 25.7 (C-2), 39.2 (C-3), 140.3 (C-4), 127.1 (C-5), 81.3 (C-6), 51.4 (C-7), 36.4 (C-8), 79.7 (C-9), 138.6 (C-10), 42.2 (C-11), 178.1 (C-12), 13.2 (C-13), 10.9 (C-14), 17.5 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[7], 故鉴定化合物 **2** 为 desacetylherbohde A。

化合物 **3**: 无色油状物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 309.167 7 $[M+H]^+$ (计算值 309.169 7), 分子式 $C_{17}H_{24}O_5$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.20 (1H, dd, $J=12.0, 3.0$ Hz, H-1), 2.50 (1H, m, H-2a), 1.90 (1H, d, $J=5.0$ Hz, H-2b), 4.28 (1H, dd, $J=10.5, 6.0$ Hz, H-3), 4.63 (1H, d, $J=11.3$ Hz, H-5), 4.60 (1H, d, $J=10.0$ Hz, H-6), 1.80 (1H, m, H-7), 1.92 (1H, d, $J=6.2$ Hz, H-8a), 2.32 (1H, dd, $J=10.0, 8.2$ Hz, H-8b), 5.06 (1H, m, H-9), 2.28 (1H, m, H-11), 1.29 (3H, d, $J=7.0$ Hz, H-13), 1.50 (3H, s, H-14), 1.74 (3H, s, H-15), 2.03 (3H, s, H-2'); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$)

δ : 129.0 (C-1), 34.2 (C-2), 78.0 (C-3), 142.1 (C-4), 124.2 (C-5), 80.4 (C-6), 51.2 (C-7), 34.5 (C-8), 80.8 (C-9), 135.6 (C-10), 42.1 (C-11), 177.9 (C-12), 13.4 (C-13), 11.7 (C-14), 12.0 (C-15), 170.1 (C-1'), 21.4 (C-2')。以上数据与文献报道基本一致^[8], 故鉴定化合物 **3** 为 millefoliumon D。

化合物 **4**: 无色油状物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 351.178 1 $[M+H]^+$ (计算值 351.180 2), 分子式 $C_{19}H_{26}O_6$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.21 (1H, dd, $J=12.0, 3.5$ Hz, H-1), 2.50 (1H, m, H-2a), 1.90 (1H, d, $J=5.0$ Hz, H-2b), 4.28 (1H, dd, $J=10.5, 6.0$ Hz, H-3), 4.63 (1H, d, $J=11.3$ Hz, H-5), 4.60 (1H, d, $J=10.0$ Hz, H-6), 1.80 (1H, m, H-7), 1.92 (1H, d, $J=6.2$ Hz, H-8a), 2.32 (1H, dd, $J=10.0, 8.2$ Hz, H-8b), 5.06 (1H, m, H-9), 2.28 (1H, m, H-11), 1.29 (3H, d, $J=7.0$ Hz, H-13), 1.50 (3H, s, H-14), 1.74 (3H, s, H-15), 2.03 (3H, s, H-2'); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 127.8 (C-1), 31.0 (C-2), 78.5 (C-3), 137.2 (C-4), 125.5 (C-5), 79.2 (C-6), 45.6 (C-7), 30.2 (C-8), 80.0 (C-9), 136.3 (C-10), 40.4 (C-11), 178.6 (C-12), 10.8 (C-13), 11.5 (C-14), 12.3 (C-15), 169.8 (C-1'), 21.0 (C-2'), 169.5 (C-3'), 20.7 (C-4')。以上数据与文献报道基本一致^[9], 故鉴定化合物 **4** 为 sintenin。

化合物 **5**: 无色油状物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 309.167 8 $[M+H]^+$ (计算值 309.169 7), 分子式 $C_{17}H_{24}O_5$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.11 (1H, m, H-1), 2.55 (1H, m, H-2a), 2.33 (1H, dd, $J=16.0, 6.5$ Hz, H-2b), 5.15 (1H, dd, $J=11.0, 6.0$ Hz, H-3), 4.67 (1H, d, $J=10.0$ Hz, H-5), 4.56 (1H, t, $J=9.5$ Hz, H-6), 1.76 (1H, d, $J=11.0$ Hz, H-7), 1.96 (1H, d, $J=14.5$ Hz, H-8a), 1.86 (1H, dt, $J=14.5$ Hz, H-8b), 4.10 (1H, dd, $J=10.5, 3.0$ Hz, H-9), 2.28 (1H, m, H-11), 1.30 (3H, d, $J=7.0$ Hz, H-13), 1.50 (3H, s, H-14), 1.73 (3H, d, $J=1.5$ Hz, H-15), 2.11 (3H, s, H-2'); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 126.1 (C-1), 31.5 (C-2), 78.9 (C-3), 137.7 (C-4), 125.6 (C-5), 80.1 (C-6), 51.2 (C-7), 36.5 (C-8), 79.4 (C-9), 140.8 (C-10), 42.0 (C-11), 178.1 (C-12), 13.4 (C-13), 11.0 (C-14), 12.8 (C-15), 170.2 (C-1'), 21.2 (C-2')。以上数据与文献报道基本一致^[8], 故鉴定化合物 **5** 为 millefoliumon C。

化合物 **6**: 白色粉末物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 351.214 6 $[M+H]^+$ (计算值 351.216 6), 分子式 $C_{20}H_{30}O_5$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.13

(1H, dd, $J = 12.0, 3.0$ Hz, H-1), 2.55 (1H, m, H-2a), 2.31 (1H, m, H-2b), 5.19 (1H, dd, $J = 10.5, 6.0$ Hz, H-3), 4.70 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-5), 4.76 (1H, dd, $J = 9.5, 9.5$ Hz, H-6), 2.25 (1H, m, H-7), 1.86 (1H, m, H-8), 4.12 (1H, dd, $J = 10.5, 3.0$ Hz, H-9), 2.72 (1H, p, $J = 8.0, 8.0$ Hz, H-11), 1.26 (3H, d, $J = 8.0$ Hz, H-13), 1.49 (3H, s, H-14), 1.73 (3H, s, H-15), 2.25 (2H, m, H-2'), 2.13, (1H, m, H-3'), 0.98 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, H-4'), 0.98 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, H-5'); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 126.2 (C-1), 31.6 (C-2), 78.7 (C-3), 137.3 (C-4), 125.9 (C-5), 79.8 (C-6), 45.9 (C-7), 33.7 (C-8), 79.6 (C-9), 140.8 (C-10), 40.7 (C-11), 179.2 (C-12), 11.3 (C-13), 11.2 (C-14), 12.8 (C-15), 172.3 (C-1'), 43.8 (C-2'), 26.0 (C-3'), 22.6 (C-4'), 22.7 (C-5')。以上数据与文献报道基本一致^[10], 故鉴定化合物 **6** 为 achigermalide D。

化合物 **7**: 白色粉末物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 247.132 7 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (计算值 247.132 9), 分子式 $\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{O}_3$ 。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 6.16 (1H, t, $J = 1.5$ Hz, H-3), 3.40 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-5), 3.62 (1H, t, $J = 10.0$ Hz, H-6), 1.93 (1H, m, H-7), 1.36 (1H, m, H-8a), 2.00 (1H, m, H-8b), 2.39 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-9a), 2.34 (1H, dd, $J = 6.0, 2.0$ Hz, H-9b), 2.24 (1H, dd, $J = 12.5, 7.0$ Hz, H-11), 1.27 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, H-13), 2.42 (3H, s, H-14), 2.27 (3H, s, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 131.9 (C-1), 196.0 (C-2), 135.6 (C-3), 170.0 (C-4), 52.6 (C-5), 84.2 (C-6), 56.4 (C-7), 26.0 (C-8), 37.6 (C-9), 152.2 (C-10), 41.2 (C-11), 177.6 (C-12), 12.3 (C-13), 21.6 (C-14), 19.9 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[11], 故鉴定化合物 **7** 为去乙酰氧母菊素。

化合物 **8**: 无色粉末物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 247.132 3 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (计算值 247.132 9), 分子式 $\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{O}_3$ 。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 6.13 (1H, m, H-3), 3.39 (1H, d, $J = 10.1$ Hz, H-5), 3.78 (1H, t, $J = 10.3$ Hz, H-6), 2.45 (1H, m, H-7), 1.83 (1H, m, H-8a), 1.40 (1H, qd, $J = 12.5, 1.5$ Hz, H-8b), 2.42 (1H, dd, $J = 4.5, 1.5$ Hz, H-9a), 2.30 (1H, m, H-9b), 2.68 (1H, d, $J = 7.5$ Hz, H-11), 1.11 (3H, d, $J = 7.5$ Hz, H-13), 2.40 (3H, s, H-14), 2.26 (3H, s, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 131.8 (C-1), 196.1 (C-2), 135.5 (C-3), 170.0 (C-4), 52.5 (C-5), 84.2 (C-6), 56.3 (C-7), 26.1 (C-8), 37.6 (C-9), 152.1 (C-10), 41.3 (C-11), 177.6 (C-12), 12.3 (C-13), 21.6 (C-14), 20.2 (C-15)。以上数

据与文献报道基本一致^[12], 故鉴定化合物 **8** 为蓍素。

化合物 **9**: 白色粉末物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 263.127 7 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (计算值 263.127 8), 分子式 $\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{O}_4$ 。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 6.17 (1H, m, H-3), 3.38 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-5), 3.85 (1H, t, $J = 10.0$ Hz, H-6), 2.76 (1H, dd, $J = 11.0, 13.5$ Hz, H-7), 3.74 (1H, t, $J = 10.0$ Hz, H-8), 2.51 (1H, td, $J = 7.0, 10.5$ Hz, H-9a), 2.40 (1H, dd, $J = 2.5, 13.5$ Hz, H-9b), 2.92 (1H, d, $J = 7.5$ Hz, H-11), 1.27 (3H, d, $J = 7.5$ Hz, H-13), 2.42 (3H, m, H-14), 2.29 (3H, s, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 134.2 (C-1), 194.2 (C-2), 135.4 (C-3), 171.3 (C-4), 52.6 (C-5), 86.3 (C-6), 60.9 (C-7), 76.2 (C-8), 46.3 (C-9), 155.2 (C-10), 41.2 (C-11), 179.6 (C-12), 15.8 (C-13), 22.5 (C-14), 18.6 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[13], 故鉴定化合物 **9** 为 8 β -hydroxyachillin。

化合物 **10**: 白色粉末物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 263.125 7 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (计算值 263.127 8), 分子式 $\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{O}_4$ 。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 6.17 (1H, s, H-3), 3.38 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-5), 3.73 (1H, dd, $J = 6.0, 14.5$ Hz, H-6), 2.12 (1H, m, H-7), 3.65 (1H, m, H-8), 2.80 (1H, dd, $J = 11.0, 14.0$ Hz, H-9a), 2.36 (1H, dd, $J = 2.0, 14.0$ Hz, H-9b), 2.54 (1H, m, H-11), 1.46 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, H-13), 2.43 (3H, s, H-14), 2.30 (3H, s, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 134.0 (C-1), 194.1 (C-2), 135.3 (C-3), 171.4 (C-4), 52.6 (C-5), 86.3 (C-6), 60.9 (C-7), 76.4 (C-8), 46.5 (C-9), 155.1 (C-10), 41.3 (C-11), 179.5 (C-12), 15.9 (C-13), 22.5 (C-14), 18.4 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[14], 故鉴定化合物 **10** 为脱氢去乙酰氧母菊素。

化合物 **11**: 无色针晶 (甲醇), 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 305.138 4 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (计算值 305.138 4), 分子式 $\text{C}_{17}\text{H}_{20}\text{O}_5$ 。 ^1H -NMR (500 MHz, CDCl_3) δ : 6.18 (1H, d, $J = 1.0$ Hz, H-3), 3.43 (1H, d, $J = 10.0$ Hz, H-5), 3.89 (1H, t, $J = 10.0$ Hz, H-6), 2.73 (1H, td, $J = 11.0, 7.0$ Hz, H-7), 4.75 (1H, td, $J = 11.0, 2.0$ Hz, H-8), 2.65 (1H, dd, $J = 13.0, 11.0$ Hz, H-9a), 2.42 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-9b), 2.82 (1H, dd, $J = 12.5, 7.0$ Hz, H-11), 1.11 (3H, d, $J = 7.0$ Hz, H-13), 2.29 (3H, d, $J = 1.0$ Hz, H-14), 2.45 (3H, s, H-15), 2.10 (3H, s, H-2'); ^{13}C -NMR (125 MHz, CDCl_3) δ : 133.3 (C-1), 195.0 (C-2), 135.8 (C-3), 169.4 (C-4), 51.6 (C-5), 81.3 (C-6), 59.3 (C-7), 70.4 (C-8), 44.5 (C-9), 145.1 (C-10), 40.9

(C-11), 176.5 (C-12), 15.0 (C-13), 21.5 (C-14), 20.0 (C-15), 169.8 (C-1'), 21.2 (C-2')。以上数据与文献报道基本一致^[15], 故鉴定化合物 **11** 为母菊内酯酮。

化合物 **12**: 无色油状物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 363.105 5 $[M+Na]^+$ (计算值 363.105 0), 分子式 $C_{16}H_{20}O_8$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.20 (1H, d, $J=11.0$ Hz, H-6), 2.48 (1H, m, H-7), 5.42 (1H, m, H-8), 2.25 (1H, m, H-9a), 2.13 (1H, m, H-9b), 2.62 (1H, m, H-11), 1.28 (3H, d, $J=7.0$ Hz, H-13), 1.65 (3H, s, H-14), 1.85 (3H, s, H-15), 2.11 (3H, s, H-2'); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 133.4 (C-1), 169.1 (C-2), 105.3 (C-4), 156.7 (C-5), 72.7 (C-6), 52.8 (C-7), 71.4 (C-8), 43.5 (C-9), 69.8 (C-10), 41.4 (C-11), 176.1 (C-12), 14.4 (C-13), 28.5 (C-14), 25.0 (C-15), 169.8 (C-1'), 21.2 (C-2')。以上数据与文献报道基本一致^[16], 故鉴定化合物 **12** 为 achisecogunolide F。

化合物 **13**: 无色针晶 (甲醇), 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 263.128 1 $[M+H]^+$ (计算值 263.127 8), 分子式 $C_{15}H_{18}O_4$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 6.20 (1H, dd, $J=2.0, 1.5$ Hz, H-3a), 3.04 (1H, d, $J=10.5$ Hz, H-5), 4.24 (1H, t, $J=10.0$ Hz, H-6), 1.92 (1H, m, H-7), 1.53 (1H, m, H-8a), 1.63 (1H, m, H-8b), 2.21 (1H, dd, $J=15.5, 5.5$ Hz, H-9a), 2.03 (1H, m, H-9b), 2.61 (1H, d, $J=7.5$ Hz, H-11), 1.16 (3H, d, $J=7.5$ Hz, H-13), 1.75 (3H, s, H-14), 2.36 (3H, t, $J=1.2$ Hz, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 67.0 (C-1), 201.0 (C-2), 133.2 (C-3), 176.7 (C-4), 49.7 (C-5), 79.7 (C-6), 51.8 (C-7), 19.8 (C-8), 34.6 (C-9), 65.2 (C-10), 39.3 (C-11), 179.1 (C-12), 9.9 (C-13), 18.9 (C-14), 20.9 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[17], 故鉴定化合物 **13** 为 1,10 β -环氧薹素。

化合物 **14**: 无色油状物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 235.169 5 $[M+H]^+$ (计算值 235.169 3), 分子式 $C_{15}H_{22}O_2$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 3.83 (1H, d, $J=12.5$ Hz, H-1), 2.65 (1H, dd, $J=16.5, 5.2$ Hz, H-2a), 2.57 (1H, dd, $J=16.5, 13.0$ Hz, H-2b), 2.80 (1H, dt, $J=14.5, 2.5$ Hz, H-6a), 2.10 (1H, m, H-6b), 2.02 (1H, m, H-7), 1.58 (1H, m, H-8a), 1.75 (1H, m, H-8b), 1.36 (1H, m, H-9a), 2.16 (1H, m, H-9b), 4.79 (1H, m, H-12), 1.79 (3H, s, H-13), 1.18 (3H, s, H-14), 1.78 (3H, s, H-15); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 74.6 (C-1), 42.5 (C-2), 197.2 (C-3), 129.7 (C-4), 161.5 (C-5), 32.9 (C-6), 45.1 (C-7), 26.6 (C-8), 37.8 (C-9), 41.3 (C-

10), 149.0 (C-11), 109.5 (C-12), 20.7 (C-13), 16.3 (C-14), 11.0 (C-15)。以上数据与文献报道基本一致^[18], 故鉴定化合物 **14** 为 1 β -hydroxy-acyperone。

化合物 **15**: 无色油状物, 易溶于氯仿和甲醇, HR-ESI-MS m/z : 381.153 1 $[M+H]^+$ (计算值 381.154 4), 分子式 $C_{19}H_{24}O_8$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 5.25 (1H, d, $J=11.0$ Hz, H-6), 2.53 (1H, m, H-7), 5.54 (1H, m, H-8), 2.17 (1H, dd, $J=16.0, 3.0$ Hz, H-9a), 2.32 (1H, dd, $J=16.0, 5.0$ Hz, H-9b), 2.68 (1H, dq, $J=13.5, 7.0$ Hz, H-11), 1.27 (3H, d, $J=7.0$ Hz, H-13), 1.68 (3H, s, H-14), 1.88 (3H, s, H-15), 6.23 (1H, dq, $J=7.0, 1.0$ Hz, H-3'), 2.06 (3H, dd, $J=7.0, 1.5$ Hz, H-4'), 1.90 (3H, s, H-5'); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 126.6 (C-1), 167.2 (C-2), 106.1 (C-4), 157.7 (C-5), 73.1 (C-6), 52.7 (C-7), 73.1 (C-8), 43.8 (C-9), 69.7 (C-10), 41.4 (C-11), 177.1 (C-12), 14.5 (C-13), 28.4 (C-14), 24.4 (C-15), 166.5 (C-1'), 126.5 (C-2'), 141.3 (C-3'), 15.9 (C-4'), 20.4 (C-5')。以上数据与文献报道基本一致^[19], 故鉴定化合物 **15** 为 millefoliumin A。

化合物 **16**: 黄色粉末物, 易溶于甲醇, HR-ESI-MS m/z : 197.116 6 $[M+H]^+$ (计算值 197.117 2), 分子式 $C_{11}H_{16}O_3$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 1.46 (1H, s, H-1), 1.27 (1H, s, H-2), 1.52 (1H, m, H-4a), 1.76 (1H, m, H-4b), 4.32 (1H, m, H-5), 1.98 (1H, m, H-6a), 2.46 (1H, m, H-6b), 1.78 (1H, s, H-7), 5.68 (1H, s, H-10); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 26.5 (C-1), 27.0 (C-2), 36.0 (C-3), 45.6 (C-4), 66.8 (C-5), 43.7 (C-6), 36.0 (C-7), 86.8 (C-8), 172.0 (C-9), 112.9 (C-10), 182.6 (C-11)。以上数据与文献报道基本一致^[20], 故鉴定化合物 **16** 为黑麦草内酯。

化合物 **17**: 无色油状物, 易溶于甲醇, HR-ESI-MS m/z : 245.150 9 $[M+Na]^+$ (计算值 245.151 2), 分子式 $C_{14}H_{22}O_2$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 2.13 (1H, m, H-1a), 2.03 (1H, t, $J=6.0$ Hz, H-1b), 2.06 (1H, m, H-2), 1.64 (1H, m, H-4), 1.04 (1H, dt, $J=10.0, 3.5$ Hz, H-5), 0.67 (1H, m, H-6), 1.73 (1H, ddd, $J=10.0, 7.0, 3.5$ Hz, H-7a), 1.65 (1H, m, H-7b), 2.55 (1H, m, H-8), 1.82 (1H, dd, $J=9.5, 5.0$ Hz, H-10), 1.78 (1H, m, H-11), 0.91 (3H, d, $J=4.0$ Hz, H-12), 0.90 (3H, d, $J=4.0$ Hz, H-13), 2.17 (3H, s, H-14); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 23.1 (C-1), 32.9 (C-2), 214.4 (C-3), 34.6 (C-4), 30.1 (C-5), 46.5 (C-6), 24.9 (C-7), 41.8 (C-8), 208.9 (C-9), 28.1 (C-10), 31.2 (C-11), 19.7 (C-12),

19.3 (C-13), 30.1 (C-14)。以上数据与文献报道基本一致^[21], 故鉴定化合物 **17** 为 saniculamoid D。

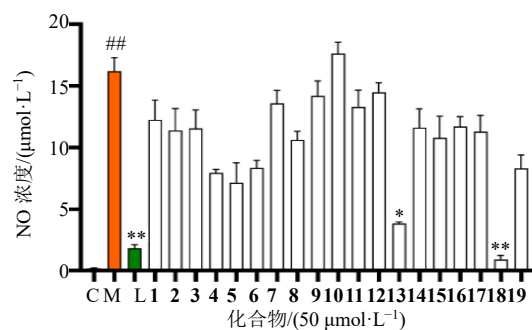
化合物 **18**: 黄色粉末物, 易溶于甲醇, HR-ESI-MS m/z : 345.097 6 $[M+H]^+$ (计算值 345.096 9), 分子式 $C_{18}H_{16}O_7$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 6.58 (1H, s, H-3), 6.55 (1H, s, H-8), 7.48 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-2'), 6.96 (1H, d, $J=8.5$ Hz, H-5'), 7.44 (1H, dd, $J=8.5, 2.0$ Hz, H-6'), 12.75 (1H, s, OH-5), 5.75 (1H, s, 3'-OH), 3.98 (1H, s, 4'-OMe), 3.93 (1H, s, 6-OMe), 3.97 (1H, s, 7-OMe); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 164.0 (C-2), 104.2 (C-3), 182.8 (C-4), 153.3 (C-5), 132.8 (C-6), 158.9 (C-7), 90.7 (C-8), 153.4 (C-9), 104.7 (C-10), 124.7 (C-1'), 110.9 (C-2'), 146.2 (C-3'), 149.7 (C-4'), 112.5 (C-5'), 119.3 (C-6'), 61.0 (4'-OMe), 56.5 (6-OMe), 56.3 (7-OMe)。以上数据与文献报道基本一致^[22], 故鉴定化合物 **18** 为泽兰黄素。

化合物 **19**: 黄色粉末物, 易溶于甲醇, HR-ESI-MS m/z : 375.108 5 $[M+H]^+$ (计算值 375.107 4), 分子式 $C_{19}H_{18}O_8$ 。 1H -NMR (500 MHz, $CDCl_3$) δ : 6.51 (1H, s, H-8), 7.68 (1H, d, $J=2.0$ Hz, H-2'), 6.97 (1H, d, $J=8.5$ Hz, H-5'), 7.73 (1H, dd, $J=8.5, 2.0$ Hz, H-6'), 12.60 (1H, s, 5-OH), 5.71 (1H, s, 3'-OH), 3.87 (1H, s, 4'-OMe), 3.96 (1H, s, 3-OMe), 3.99 (1H, s, 6-OMe), 3.92 (1H, s, 7-OMe); ^{13}C -NMR (125 MHz, $CDCl_3$) δ : 164.2 (C-2), 182.5 (C-4), 153.1 (C-5), 132.9 (C-6), 158.7 (C-7), 90.9 (C-8), 153.5 (C-9), 104.5 (C-10), 124.8 (C-1'), 111.0 (C-2'), 146.3 (C-3'), 149.9 (C-4'), 112.3 (C-5'), 119.5 (C-6'), 61.4 (4'-OMe), 60.3 (3-OMe), 56.8 (6-OMe), 56.1 (7-OMe)。以上数据与文献报道基本一致^[23], 故鉴定化合物 **19** 为紫花牡荆素。

4 抗炎活性筛选

采用构建 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞体外炎症模型的方法, 对丝叶蓼二氯甲烷部位分离得到的化合物 **1~19** 进行抗炎活性筛选。取出生长状态良好的 RAW264.7 细胞 (细胞浓度为 1×10^5 个/mL), 制成细胞悬液, 接种于 96 孔板中, 在 37 °C、5% CO_2 环境下培养 24 h。设置对照组 (仅 DMEM 培养基)、模型组 (1 $\mu g/mL$ LPS)、实验组 [1 $\mu g/mL$ LPS + (3.125、6.25、12.5、25、50、100、200、500 $\mu mol/L$ 化合物)], 每组 3 个复孔。培养 24 h, 采用 Griess 试剂盒操作方法, 检测细胞培养液中 NO 的含量 (结果见图 2)。采用一氧化氮合酶 (nitric oxide synthase, NOS) 抑制剂 N^G -单甲基-L-精氨酸硝酸盐 (L-NMMA)

作为阳性药对照。同时通过 MTT 实验评估 RAW264.7 细胞的活性, 排除化合物的细胞毒性干扰。实验结果表明, 与模型组相比, 化合物 **13** 在 50 $\mu mol/L$ 浓度时的 NO 抑制率为 77.4%, 其半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC_{50}) 值为 19.93 $\mu mol/L$, 化合物 **18** 在 50 $\mu mol/L$ 浓度时的 NO 抑制率为 92.0%, 其 IC_{50} 值为 13.91 $\mu mol/L$, 化合物 **13** 和 **18** 具有显著的抗炎活性。阳性药 N^G -单甲基-L-精氨酸硝酸盐 IC_{50} 值为 23.8 $\mu mol/L$ 。



C-对照组, M-模型组, L-阳性对照组; 与对照组比较: ## $P < 0.01$, 与模型组比较: * $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ 。

C- control group, M-model group, L-positive control group; ## $P < 0.01$ vs control group, * $P < 0.05$ ** $P < 0.01$ vs model group.

图 2 化合物 **1~19** 在 LPS 诱导的 RAW264.7 细胞株上抑制 NO 的产生水平

Fig. 2 Compounds **1—19** inhibited levels of NO product in LPS-induced RAW264.7 cells

5 讨论

蓼属植物属于菊目菊科, 具有祛风止痛, 活血, 解毒的功效, 用于跌打损伤、风湿疼痛症状。全草常被用作中药材, 但对丝叶蓼的研究较少, 缺乏对丝叶蓼的化学成分和药理活性的系统研究。本研究以丝叶蓼为研究对象, 从其二氯甲烷部位分离并鉴定出 19 个化合物, 并通过各化合物对小鼠 RAW264.7 巨噬细胞产生 NO 抑制作用来评价各化合物的抗炎活性。结果表明, 化合物 **13** 和 **18** 对 NO 的产生具有良好的抑制作用。本研究阐明了丝叶蓼的化学成分和抗炎活性的药效物质基础, 为丝叶蓼的进一步研究提供了科学依据。

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 (第七十六卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 10.
- [2] 闫昕雨, 宗蓉, 赵蓉, 等. 菊科蓼属植物生物活性的研究进展 [J]. 现代医药卫生, 2019, 35(23): 3634-3637.

- [3] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 365.
- [4] Mohamed A E H, Mohamed N S, Hamed A R, *et al.* Anti-inflammatory activity of highly oxygenated terpenoids from *Achillea biebersteinii* Afan [J]. *Z Naturforsch C J Biosci*, 2016, 71(11/12): 429-432.
- [5] Коновалов Д А, 王良信. 千叶著的生物活性物质 [J]. 国外医药: 植物药分册, 1992, 7(2): 63-65.
- [6] Barrero A F, Sa'nchez J F, Barro'n A, *et al.* Biomimetic cyclizations of a germacranolide from *Tanacetum annuum* [J]. *Phytochemistry*, 1992, 31(1): 332-335.
- [7] Segal R, Feuerstein I, Duddeck H, *et al.* The sesquiterpene lactones from two populations of *Artemisia herba alba* [J]. *Phytochemistry*, 1983, 22(1): 129-131.
- [8] Li H L, Akber Aisa H, Li J. Germacrane-type sesquiterpene lactones from *Achillea millefolium* L. and their anti-inflammatory activity [J]. *Chem Biodivers*, 2023, 20(4): e202300079.
- [9] Gören N, Sevil Ö, Ulubelen A. A sesquiterpene lactone, sintenin, from *Achillea sintenisii* [J]. *Phytochemistry*, 1988, 27(7): 2346-2347.
- [10] Xue G M, Zhao C G, Xue J F, *et al.* Germacranolide- and guaianolide-type sesquiterpenoids from *Achillea alpina* L. reduce insulin resistance in palmitic acid-treated HepG2 cells *via* inhibition of the NLRP3 inflammasome pathway [J]. *Phytochemistry*, 2022, 202: 113297.
- [11] Balboul B A A A, Ahmed A A, Otsuka H, *et al.* A guaianolide and a germacranolide from *Achillea santolina* [J]. *Phytochemistry*, 1997, 46(6): 1045-1049.
- [12] Martinez V M, Muñoz-Zamora A, Joseph-Nathan P. Conformational analysis of achillin and leukodin [J]. *J Nat Prod*, 1988, 51(2): 221-228.
- [13] Todorova M, Trendafilova A, Mikhova B, *et al.* Chemotypes in *Achillea collina* based on sesquiterpene lactone profile [J]. *Phytochemistry*, 2007, 68(13): 1722-1730.
- [14] 凌云, 鲍燕燕, 朱莉莉, 等. 蒲公英化学成分的研究 [J]. 中国药学杂志, 1997, 32(10): 10-12
- [15] White E H, Winter R E K. Natural products from *Achillea lanulosa* [J]. *Tetrahedron Lett*, 1963, 4(3): 137-140.
- [16] Xue G M, Zhao C G, Xue J F, *et al.* 2, 3-Seco and 3-nor guaianolides from *Achillea alpina* with antidiabetic activity [J]. *Chin J Nat Med*, 2023, 21(8): 610-618.
- [17] Marco J A, Barberá O, Martinez V, *et al.* Sesquiterpene lactones from *Artemisia assoana* [J]. *Planta Med*, 1988, 54(5): 460-461.
- [18] Sanz J F, Marco J A. Sesquiterpene lactones from *Artemisia caerulescens* subsp. *gargantae* [J]. *Phytochemistry*, 1990, 29(9): 2913-2917.
- [19] Li H L, Li J, Liu M Q, *et al.* Guaianolide sesquiterpene lactones from *Achillea millefolium* L [J]. *Phytochemistry*, 2021, 186: 112733.
- [20] Willuhn G, Westhaus R G. Lolilide (calendin) from *Calendula officinalis* [J]. *Planta Med*, 1987, 53(3): 304.
- [21] Li X S, Zhou X J, Zhang X J, *et al.* Sesquiterpene and norsesquiterpene derivatives from *Sanicula lamelligera* and their biological evaluation [J]. *J Nat Prod*, 2011, 74(6): 1521-1525.
- [22] 张达, 姜宏梁, 杨学东, 等. 北刘寄奴中黄酮类化学成分的研究 [J]. 中草药, 2002, 33(11): 974-975.
- [23] Azizuddin, Makhmoor T, Choudhary M I. Radical scavenging potential of compounds isolated from *Vitex agnus-castus* [J]. *Turk J Chem*, 2010, 34(1): 119-126.

[责任编辑 王文倩]