砂茴香全草中1个新的倍半萜内酯

王青虎[1*], 伊德日[1], 马月海[1,2], 韩那仁朝克图[1], 王光明[1], 王海英[2*]

(1. 内蒙古民族大学蒙医药学院, 内蒙古 通辽 028000; 2. 内蒙古民族大学附属医院, 内蒙古 通辽 028000)

摘要: 利用SiO_2、Sephadex LH-20、薄层等色谱技术对砂茴香全草的石油醚提取物化学成分进行分离, 并经其波谱数据的分析, 确定其结构。从砂茴香全草的石油醚提取物中鉴定了5个倍半萜类化合物, buntone A (**1**)、caryophyllene oxide (**2**)、桉油烯醇 (**3**)、中亚阿魏酮 (**4**)、jaeschkeanadiol (**5**), 其中化合物**1**为新的倍半萜内酯, **2**和**3**为阿魏属中首次分离得到。对化合物**1**～**3**进行了体外抗炎活性筛选, 结果显示在10 μmol·L^{-1}浓度下, 化合物**1**～**3**具有不同程度的NO抑制活性, 其抑制率分别为89.8% ± 1.2%、76.4% ± 0.8%和80.4% ± 0.9%。

关键词: 砂茴香; 阿魏属; 倍半萜内酯; 结构鉴定; 抗炎活性

中图分类号: R284 **文献标识码**: A **文章编号**: 0513-4870(2026)09-3448-05

A new sesquiterpene lactones from the whole plant of *Ferula bungeana*

WANG Qing-hu[1*], Yi-de-ri [1], MA Yue-hai[1,2], HAN Na-ren-chao-ke-tu[1], WANG Guang-ming[1], WANG Hai-ying[2*]

(*1. College of Traditional Mongolian Medicine, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao 028000, China; 2. Affiliated Hospital, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao 028000, China*)

Abstract: The chemical constituents of petroleum ether extracts from the whole plant of *Ferula bungeana* were isolated using chromatographic techniques such as SiO_2, Sephadex LH-20, and thin-layer chromatography. Their structures were determined through the analysis of their spectral data. Five sesquiterpenoids were identified from the petroleum ether extracts of *Ferula bungeana* whole plant, namely buntone A (**1**), caryophyllene oxide (**2**), eudesol (**3**), mesoferulone (**4**), and jaeschkeanadiol (**5**). Among them, compound **1** was a new sesquiterpene lactone, while compounds **2** and **3** were isolated for the first time from the genus *Ferula*. Compounds **1**−**3** were screened for *in vitro* anti-inflammatory activity, and the results showed that compounds **1**−**3** exhibited varying degrees of NO inhibitory activity at a concentration of 10 μmol·L^{-1}, with inhibition rates of 89.8% ± 1.2%, 76.4% ± 0.8% and 80.4% ± 0.9%, respectively.

Key words: *Ferula bungeana*; genus *Ferula*; sesquiterpene lactones; structural identification; anti-inflammatory activity

阿魏属植物在我国约有26种, 13种可药用, 主产新疆、内蒙古等地区。文献[1]报道分布于我国的阿魏属植物中主要含有倍半萜−香豆素杂合化合物、苯丙素类、单萜倍半萜及其他类[2-9], 具有抗氧化、抗肿瘤、抗炎等多种生物学活性[10-13]。砂茴香 (*Ferula bungeana* Kitagawa), 别名硬阿魏, 系我国仅有并潜在药用开发前景的伞形科阿魏属植物之一, 主要来源于我国内蒙古、陕西、河南、宁夏、甘肃, 尤其是内蒙古中东部沙漠地

收稿日期: 2026-04-10; 修回日期: 2026-05-20.

基金项目: 内蒙古自治区教育厅一流学科科研专项项目 (YLXKZX-NMD-004); 内蒙古自治区自然科学基金项目 (2023MS08027); 蒙药研发国家地方联合工程研究中心开放基金项目 (MDK2024010).

*通讯作者 E-mail: wqh693@163.com; 1594957308@qq.com

DOI: 10.16438/j.0513-4870.2026-0411

区分布较广, 并起着防风固沙, 对生态环境保护作用。

近几年, 民间相传砂茴香对炎症相关的疾病治疗有显著效果, 且未见毒副反应。为了继续寻找抗炎活性天然产物, 课题组在前期[14,15]研究基础上, 本文利用SiO_2、Sephadex LH-20等经典柱色谱及薄层色谱等技术对砂茴香全草的石油醚提取物化学成分进行分离鉴定, 得到5个倍半萜类化合物 (图1), buntone A (**1**)、caryophyllene oxide (**2**)、桉油烯醇 (**3**)、中亚阿魏酮 (**4**)、jaeschkeanadiol (**5**), 其中化合物**1**为新的倍半萜内酯, **2**和**3**为阿魏属中首次分离得到。同时, 对化合物**1**～**3**进行了体外抗炎活性筛选。

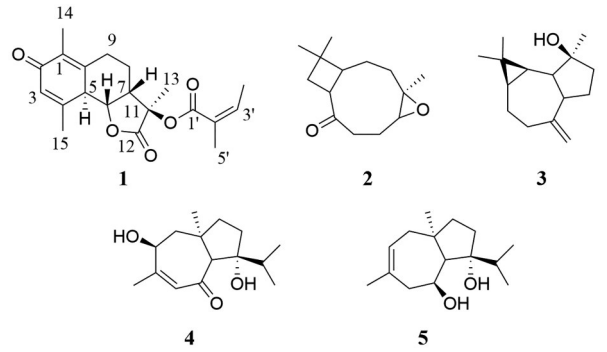


Figure 1 Structures of compounds **1**–**5**

结果与讨论

1 结构鉴定

化合物**1**为白色固体, 易溶于乙酸乙酯、甲醇、乙醇等有机溶剂。HR-ESI-MS图谱中给出一个 $[M+Na]^+$的准分子离子峰为 *m/z* 367.148 9 (calcd. for $C_{20}H_{24}O_5Na^+$ 367.152 1), 确定其分子式为$C_{20}H_{24}O_5$, 不饱和度为9。IR (KBr) 谱中在1 721、1 232和1 148 cm^{-1}处有强吸收峰, 提示化合物**1**的结构中酯羰基的存在, 另外在1 648、1 609和1 515 cm^{-1}处有吸收峰, 说明了化合物**1**的结构中双键和苯环的存在。

^1H NMR谱 (500 MHz, $CDCl_3$, 表1) 中给出了2个烯烃质子信号 δ_H 6.23 (1H, q, *J* = 7.0 Hz, H-3′) 和6.18 (1H, s, H-3)。此外, ^1H NMR中还给出5个甲基质子信号, 分别在 δ_H 1.60 (3H, s, H-13), 1.90 (3H, s, H-5′), 2.02 (3H, d, *J* = 7.0 Hz, H-4′), 2.27 (3H, s, H-14), 2.31 (3H, s, H-15); 2个亚甲基质子信号 δ_H 2.80 (1H, m, H-9a), 2.41 (1H, m, H-9b), 2.13 (1H, m, H-8a), 1.88 (1H, m, H-8b); 3个次甲基质子信号 δ_H 2.92 (1H, m, H-7), 3.74 (1H, d, *J* = 11.5 Hz, H-5), 4.77 (1H, dd, *J* = 11.5, 9.0 Hz, H-6)。^1H NMR中这些质子和质子化碳通过HSQC实验明确指定。

^{13}C NMR谱 (125 MHz, $CDCl_3$, 表1) 中给出一组

Table 1 ^1H (500 MHz) and ^{13}C NMR (125 MHz) data of compound **1** in $CDCl_3$

No.	δ_H	δ_C
1	–	128.1
2	–	196.0
3	6.18 (1H, s)	135.2
4	–	170.6
5	3.74 (1H, d, *J* = 11.5 Hz)	47.3
6	4.77 (1H, dd, *J* = 11.5, 9.0 Hz)	82.2
7	2.92 (1H, m)	45.2
8	2.13 (1H, m)	21.5
	1.88 (1H, m)	
9	2.80 (1H, m)	39.2
	2.41 (1H, m)	
10	–	148.8
11	–	79.4
12	–	174.4
13	1.60 (3H, s)	20.3
14	2.27 (3H, s)	20.2
15	2.31 (3H, s)	19.9
1′	–	166.7
2′	–	126.5
3′	6.23 (1H, q, *J* = 7.0 Hz)	141.5
4′	2.02 (3H, d, *J* = 7.0 Hz)	16.1
5′	1.90 (3H, s)	20.4

倍半萜内酯骨架碳信号 δ_C 128.1 (C-1)、196.0 (C-2)、135.2 (C-3)、170.6 (C-4)、47.3 (C-5)、82.2 (C-6)、45.2 (C-7)、21.5 (C-8)、39.2 (C-9)、148.8 (C-10)、79.4 (C-11)、174.4 (C-12)、20.3 (C-13)、20.2 (C-14)、19.9 (C-15)。在HMBC谱 (图2) 中 δ_H 2.27 (H-14) 与C-1、C-2、C-9和C-10相关, 2.31 (H-15) 与C-3、C-4和C-5相关, 6.18 (H-3) 与C-2、C-1、C-4、C-5和C-15相关, 1.60 (H-13) 与C-7、C-11和C-12相关, 4.77 (H-6) 与C-4、C-5、C-7、C-8、C-11和C-12相关, 并在^1H-^1H COSY谱 (图2) 中H-5/H-6/H-7相关, H-9/H-8/H-7相关, 提示结构中倍半萜内酯的存在。另外, ^{13}C NMR谱[16]中还给出1个当归酰氧基碳信号 δ_C 16.1 (C-4′)、141.5 (C-3′)、126.5 (C-2′)、166.7 (C-1′) 和20.4 (C-5′)。在HMBC谱 (图2) 中 δ_H 2.02 (H-4′) 与C-3′和C-2′相关, 1.90 (H-5′) 与C-1′、C-2′和C-3′相关, 进一步证实了结构中1个当归酰氧基的存在。

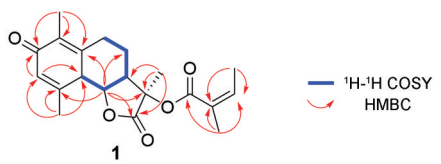


Figure 2 Key ^1H-^1H COSY and HMBC correlations of compound **1**

化合物**1**手性中心的相对构型是通过其偶合常数、峰形及NOESY实验确定的。在^1H NMR谱中H-5 (δ_H 3.74, d, *J* = 11.5 Hz) 和H-6 (δ_H 4.77, dd, *J* = 11.5, 9.0 Hz) 的典型偶合常数及峰形提示H-5与H-6为反式偶合, 而

H-6与H-7为顺式偶合[17]。在NOESY谱中H-7与H-6相关, H-7与H-8β相关, 说明这些质子具有β取向。另外, 在NOESY谱中H-5与H_3-13相关, H-8α与H_3-13相关, 说明这些质子具有α取向[18]。化合物**1**的绝对构型通过对比实验与计算的电子圆二色谱进一步确定。结果表明, 化合物**1**的实验电子圆二色谱与5*S*,6*R*,7*R*,11*R*构型的计算谱图高度吻合 (图3)。经文献检索为未见报道的新化合物, 命名为buntone A。

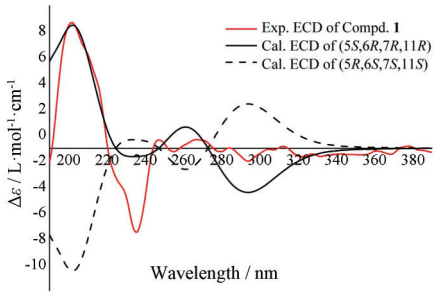


Figure 3 Calculated and experimental CD spectra of **1**

2 化合物1～3的活性测试

CCK-8结果显示细胞存活率高于90.1% ± 1.5%, 认为该浓度下无明显细胞毒性。

运用脂多糖诱导的小鼠巨噬细胞RAW 264.7炎症模型, 测试了化合物**1**～**3**的抑制NO生成活性。实验结果显示, 在10 μmol·L^{-1}浓度下, 化合物**1**～**3**具有不同程度的NO抑制活性, 抑制率分别为89.8% ± 1.2%、76.4% ± 0.8%和80.4% ± 0.9%。

实验部分

Bruker AVAIVCEIII-500型核磁共振波谱仪 (TMS内标, 德国Bruker公司); Waters Xevo G2S Q-TOF-MS质谱仪 (美国Waters公司); IRXross红外光谱仪和AUW220D型电子天平 (日本岛津公司); UV-1300PC型紫外可见分光光度计 (上海美析仪器有限公司); NU-5710型二氧化碳培养箱 (美国NuAire公司); Spark多功能酶标仪 (瑞士Tecan公司); DMi1倒置显微镜[徕卡显微系统 (上海) 有限公司]; LC-4012低速离心机 (安徽中科中佳科学仪器有限公司); SX-700高压蒸汽灭菌锅 (日本TOMY公司)。RAW264.7巨噬细胞 (中国科学院上海细胞库); LPS (北京索莱宝科技有限公司, 818E035); 胎牛血清 (美国Hyclone公司, SH30406.05); DMEM高糖培养基 (美国Gibco公司, 812557); Griess试剂 (碧云天生物技术有限公司, S0021S); 薄层色谱硅胶、柱色谱硅胶 (青岛海洋化工厂); 分析纯石油醚 (60～90 ℃)、乙酸乙酯、环己烷 (天津大茂化学试剂厂)。

砂茴香全草采集于内蒙古通辽市科左后旗伊胡塔, 经内蒙古民族大学蒙医药学院蒙药学白金亮副教授鉴定为伞形科阿魏属植物砂茴香的全草 (编号: 20230525)。样品保存于内蒙古民族大学蒙医药学院蒙药学博士生实验室备用。

1 提取分离

砂茴香全草2.0 kg, 用10倍量的石油醚回流提取2次, 每次2 h, 合并提取液, 减压回收石油醚, 得到石油醚提取物 (86 g)。称取砂茴香石油醚提取物80 g, 加石油醚−乙酸乙酯 (20∶1) 混合液适量, 溶解, 加少量硅胶拌样均匀, 自然晾干。用湿法拌样后的样品装入已装好的硅胶柱色谱, 用石油醚−乙酸乙酯 (100∶1～20∶1) 进行梯度洗脱, 流分以500 mL为一份, 并经TLC检测合并相同部分, 得到3个流分 (Fr. 1～3)。

Fr. 1 (5.8 g) 加二氯甲烷适量, 溶解, 加少量硅胶拌样, 用湿法装入已装好的硅胶柱色谱, 以石油醚−乙酸乙酯 (70∶1) 洗脱, 洗脱液经TLC检测, 分段为两份 (Fr. 1A和Fr. 1B)。Fr. 1A (109 mg) 加二氯甲烷适量, 溶解, 以环己烷−乙酸乙酯 (18∶1) 为展开剂, 用TLC进行制备, 获得化合物**2** (16.7 mg); Fr. 1B (349 mg) 加二氯甲烷适量, 溶解, 以环己烷−乙酸乙酯 (15∶1) 为展开剂, 用TLC进行制备, 获得化合物**3** (25.3 mg)。Fr. 2 (13.8 g) 用二氯甲烷适量溶解, 溶液上加少量硅胶, 拌样吸附1 h。用湿法把拌样后的样品放入已装好的硅胶柱色谱, 以石油醚−乙酸乙酯 (50∶1) 洗脱, 每份洗脱量为100 mL, 用旋转蒸发仪回收溶剂至干, 加二氯甲烷5 mL, 搅拌成溶液。每个洗脱溶液点于硅胶薄层板上, 展开、显色、分析。把具有相同斑点的洗脱溶液合并, 合并液放置过夜, 得到化合物**4** (64.5 mg)。母液用旋转蒸发仪浓缩至1 mL, 用毛细管条形点于硅胶薄层板上, 以环己烷−乙酸乙酯 (10∶1) 为展开剂, 展开, 取出硅胶薄层板, 自然晾干, 在薄层板两侧约1 cm喷10%硫酸乙醇溶液, 加热显色, 画出Rf值相同的位置, 并用刮板刀刮掉Rf值相同位置的硅胶, 放入烧杯中, 加适量二氯甲烷洗脱, 洗脱液回收至干, 再加少量二氯甲烷溶解, 溶液放置过夜, 得到化合物**5** (14.6 mg)。Fr.3 (7.8 g) 加适量二氯甲烷溶解, 加少量硅胶拌样, 用湿法装入已装好的硅胶柱色谱, 以石油醚−乙酸乙酯 (20∶1) 洗脱, 洗脱液经TLC检测合并相同部分, 回收溶剂至干。残渣加二氯甲烷10 mL, 溶解, 溶液经Sephadex LH-20柱色谱, 以二氯甲烷−甲醇 (1∶1) 混合液洗脱, 洗脱液用TLC检测合并相同部分, 放置过夜, 得到化合物**1** (38.4 mg)。

2 波谱数据

化合物**1**为白色固体; UV (MeOH) λ_{max}: 215, 239,

252 nm; IR (iTR) ν_{max} 1 718, 1 651, 1 521, 1 384, 1 230, 1 119 cm^{-1}; HRESIMS *m/z* 367.148 9 [M+Na]$^+$ ($C_{20}H_{24}O_5Na^+$, 计算值为 367.152 1); ^{1}H NMR ($CDCl_3$, 500 MHz) 和 ^{13}C NMR ($CDCl_3$, 125 MHz) 数据见表1。

化合物**2**为白色固体; ^{1}H NMR (500 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 0.96 (3H, s, H-15), 0.98 (2H, m, H-3), 1.03 (3H, s, H-14), 1.19 (3H, s, H-12), 1.29 (2H, m, H-7), 1.33 (2H, m, H-6), 1.39 (1H, m, H-2a), 1.57 (1H, m, H-10a), 1.63 (1H, m, H-2b), 1.71 (1H, m, H-10b), 1.78 (1H, m, H-1), 2.59 (1H, dd, *J* = 7.0, 13.5 Hz, H-9), 2.87 (1H, dd, *J* = 4.5, 10.5 Hz, H-5), 4.79 (1H, s, H-13a), 4.89 (1H, s, H-13b); ^{13}C NMR (125 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 50.4 (C-1), 27.5 (C-2), 38.9 (C-3), 59.3 (C-4), 64.1 (C-5), 30.7 (C-6), 29.4 (C-7), 149.9 (C-8), 48.1 (C-9), 39.3 (C-10), 33.8 (C-11), 16.8 (C-12), 113.1 (C-13), 21.3 (C-14), 29.6 (C-15)。与文献[19]对照, 鉴定化合物**2**为caryophyllene oxide。

化合物**3**为白色固体; ^{1}H NMR (500 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 0.60 (1H, dd, *J* = 9.5, 11.0 Hz, H-5), 0.77 (1H, m, H-4), 0.99 (2H, m, H-4), 1.02 (3H, s, H-14), 1.06 (3H, s, H-15), 1.28 (3H, s, H-12), 1.37 (1H, m, H-6), 1.60 (1H, m, H-8a), 1.68 (1H, m, H-9a), 1.78 (1H, m, H-8b), 1.89 (1H, m, H-9b), 2.01 (1H, m, H-2a), 2.18 (1H, m, H-10), 2.48 (1H, m, H-2b), 4.69 (2H, br d, *J* = 13.0 Hz, H-11); ^{13}C NMR (125 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 151.6 (C-1), 39.0 (C-2), 25.1 (C-3), 27.7 (C-4), 29.6 (C-5), 54.5 (C-6), 79.8 (C-7), 42.0 (C-8), 27.0 (C-9), 53.5 (C-10), 105.8 (C-11), 26.3 (C-12), 20.5 (C-13), 16.3 (C-14), 28.5 (C-15)。与文献[20]对照, 鉴定化合物**3**为桉油烯醇。

化合物**4**为白色固体; ^{1}H NMR (500 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 0.90 (3H, d, *J* = 7.0 Hz, H-12), 0.99 (3H, d, *J* = 7.0 Hz, H-13), 1.05 (3H, s, H-14), 1.07～1.78 (6H, m, H-1,8,9), 1.83 (3H, s, H-15), 1.91 (1H, m, H-11), 2.48 (1H, s, H-6), 4.49 (1H, br d, *J* = 10.0 Hz, H-2), 6.19 (1H, br s, H-4); ^{13}C NMR (125 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 42.1 (C-1), 70.1 (C-2), 146.2 (C-3), 133.1 (C-4), 190.1 (C-5), 56.6 (C-6), 86.0 (C-7), 44.6 (C-8), 32.1 (C-9), 56.1 (C-10), 38.2 (C-11), 16.5 (C-12), 17.3 (C-13), 20.4 (C-14), 18.4 (C-15)。与文献[21]对照, 鉴定化合物**4**为feruone。

化合物**5**为白色固体; ^{1}H NMR (500 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 0.88 (3H, d, *J* = 7.0 Hz, H-12), 0.97 (3H, d, *J* = 7.0 Hz, H-13), 1.02 (3H, s, H-14), 1.06～1.08 (2H, m, H-8a, H-9a), 1.60 (1H, d, *J* = 15.0, 9.0 Hz, H-1b), 1.68～1.70 (2H, m, H-8b, H-9b), 1.75 (1H, d, *J* = 13.0 Hz, H-6), 1.89 (3H, s, H-15), 1.91 (1H, m, H-11), 2.09 (1H, d, *J* = 15.0, 5.0 Hz, H-1a), 2.69 (1H, dd, *J* = 16.5, 4.0 Hz, H-4a), 2.88 (1H, dd, *J* = 16.5, 11.0 Hz, H-4b), 3.33 (1H, m, H-5), 6.48 (1H, d, *J* = 7.0 Hz, H-2); ^{13}C NMR (125 MHz, $CDCl_3$) *δ*: 40.3 (C-1), 127.9 (C-2), 147.1 (C-3), 39.5 (C-4), 68.5 (C-5), 56.8 (C-6), 81.2 (C-7), 44.0 (C-8), 31.7 (C-9), 55.5 (C-10), 37.8 (C-11), 16.9 (C-12), 17.3 (C-13), 20.9 (C-14), 18.9 (C-15)。与文献[22]对照, 鉴定化合物**5**为jaeschkeanadiol。

3 抗炎活性测定

为排除细胞毒性导致的假阳性结果, 采用CCK-8法评价化合物**1**～**3**对RAW264.7细胞活力的影响。细胞按上述条件处理后, 加入CCK-8工作液, 在37 ℃条件下孵育1～2 h, 于450 nm处测定吸光度 (*A*) 值。

采用脂多糖 (LPS) 诱导的小鼠单核巨噬细胞RAW264.7炎症模型对化合物**1**～**3**进行活性筛选[19]。细胞接种到96孔板中, 在含10%胎牛血清的DMEM培养基于37 ℃、5% CO_2培养箱中培养。加入浓度为1 μg·mL^{-1} LPS和待测化合物 (终浓度10 μmol·L^{-1}) 在相同条件下培养24 h。培养结束后, 收集各组细胞培养上清液, 采用Griess法检测NO生成量。取50 μL细胞培养上清液加入96孔板中, 随后依次加入等体积的Griess I液和Griess II液, 轻轻振荡混匀后, 于室温避光反应10 min。反应结束后, 使用酶标仪于570 nm波长处测定*A*值。以不同浓度亚硝酸钠 ($NaNO_2$) 标准液绘制标准曲线, 并根据标准曲线计算各组培养上清液中NO的含量。抑制率计算公式: NO生产抑制率 = ($A_{非药物处理组} - A_{样品组}$) / $A_{非药物处理组}$ ×100%。

4 ECD计算

利用PC Model 10软件以MMFF94分子力场水平对结构进行分子动力学构象搜索, 其最佳能量上限为10 kcal·mol^{-1}; 利用Gaussian 16软件(http://gaussian.com/gaussian16), 以TDDFT方法在B3LYP/6-31G(d)水平下对构象进一步优化, 分布百分比大于1%的构象在B3LYP/6-311G(d,p)水平下进行ECD计算; 采用SpecDis 1.71软件 (https://specdis-software.jimdo.com)根据玻尔兹曼分布加权拟合得出ECD谱图。

作者贡献: 伊德日负责砂茴香全草提取及分离和稿件撰写; 马月海和韩那仁朝克图协助提取及分离; 王光明负责抗炎活性筛选实验实施及数据处理; 王海英负责实验设计及测定核磁共振数据; 王青虎负责实验指导、结构鉴定及稿件修改。

利益冲突: 作者声明本研究内容无任何利益冲突。

References

[1] Yang XW. Bioactive material basis of medicinal plants in genus *Ferula* [J]. Mod Chin Med (中国现代中药), 2018, 20: 123-144.

[2] Meng H, Li GY, Huang J, et al. Sesquiterpene coumarin and sesquiterpene chromone derivatives from *Ferula ferulaeoides* (Steud.) Korov. [J]. Fitoterapia, 2013, 86: 70-77.

[3] Liu T, Wang SY, Xu LL, et al. Sesquiterpenoids with anti-MDR *Staphylococcus aureus* activities from *Ferula ferulioides* [J]. Chem Biodivers, 2015, 12: 599-614.

[4] Liu T, Osman K, Kaatz GW, et al. Antibacterial sesquiterpenoid derivatives from *Ferula ferulaeoidess* [J]. Planta Med, 2013, 79: 701-706.

[5] Xing YC, Tang YZ, Pan Y, et al. Study on chemical components from *Ferula sinkiangensis* K. M. Shen [J]. Drugs Clin (现代药物与临床), 2013, 28: 11-13.

[6] Li GZ, Li XJ, Cao L, et al. Chemical constituents from seeds of *Ferula sinkiangensis* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2015, 46: 1730-1736.

[7] Suleimeov YM, Machmudah S, Ishmuratova MY, et al. Investigation of kazakhstani flora. II. GC/MS analysis of *Ferula soongarica* pall. ex Schult. essential oil obtained by supercritical CO_2 extraction [J]. Khim Rastit Syr'ya, 2010, 26: 183-184.

[8] Yang JR, Li GQ, Li ZH, et al. Study on chemical constituents from *Ferula teterrima* [J]. Nat Prod Res Dev (天然产物研究与开发), 2006, 18: 246-248.

[9] Hu Y, Li XD, Li GY, et al. Study on chemical constituents from *Ferula songorica* Pall. ex Spren in Roem. et Schult [J]. Mod Chin Med (中国现代中药), 2009, 11: 18-19.

[10] Xing YC, Li N, Zhou D, et al. Sesquiterpene coumarins from *Ferula sinkiangensis* act as neuroinflammation inhibitors [J]. Planta Med, 2017, 83: 135-142.

[11] Zhang HY, Lu J, Jiang L, et al. Antioxidant and antitumor effects of *Ferula sinkiangensis* K. M. Shen [J]. Int J Clin Exp Med, 2015, 8: 20845-20852.

[12] Li GZ, Wang JC, Li XJ, et al. Two new sesquiterpene coumarins from the seeds of *Ferula sinkiangensis* [J]. Phytochem Lett, 2015, 13: 123-126.

[13] Ye BG, Wang S, Zhang L. Studies on the detoxification effects and acute toxicity of a mixture of *cis*-*sec*-butyl-1-propoenyl disulphide and *trans*-*sec*-butyl-1-propoenyl disulphide isolated from crude essential oil of *Ferula sinkiangensis* K. M. Shen, a Chinese traditional herbal medicine [J]. Nat Prod Res, 2011, 25: 1161-1170.

[14] Wang GM, Chao L, Song YW, et al. Chemical constituents from *Ferula bungeana* Kitagawa [J]. Chin Pharm J (中国药学杂志), 2024, 59: 37-46.

[15] Wang QH, Yi LQ, Chao L, et al. Establishment of high performance liquid chromatography fingerprint of *Ferula bungea*na Kitagawa and chemical pattern recognition of its different parts [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2024, 55: 6749-6757.

[16] Jia YY, Feng H, Liu Y, et al. Two new phenolic compounds from the stems of *Ephedra sinica* Stapf. [J]. Acta Pharm Sin (药学学报), 2025, 60: 2858-2862.

[17] Lago JH, Brochini CB, Roque NF. Terpenoids from *Guarea guidonia* [J]. Phytochemistry, 2002, 60: 333-338.

[18] Zhang XF, Mei TL, Luo XM, et al. Inhibition of the NLRP3 inflammasome by callinudin A: A novel 3,4-*seco*-labdane diterpenoid derived from *Callicarpa nudiflora* [J]. Rec Nat Prod, 2026, 20: e25123770.

[19] Mittas D, Mawunu M, Magliocca G, et al. Bioassay-guided isolation of anti-inflammatory constituents from the subaerial parts of *Cyperus articulatus* (Cyperaceae) [J]. Molecules, 2022, 27: 5937.

[20] Shi LL, Li HR. Identification of sesquiterpenes from *Kadsura coccinea* and research on their nitric oxide inhibitory activities [J]. China Med Her (中国医药导报), 2016, 13: 27-29.

[21] Garg SN, Agarwal SK. New sesquiterpenes from *Ferula jaeschkeana* [J]. Planta Med, 1987, 53: 341-342.

[22] Sriraman MC, Nagasampagi BA, Pandey RC, et al. Studies in sesquiterpenes—XLIX: Sesquiterpenes from *Ferula jaeschkeana* Vatke (part 1): Jaeschkeanadiol—structure, stereochemistry [J]. Tetrahedron, 1973, 29: 985-991.