

## 砂茴香全草中苯丙烷类化学成分研究

王青虎<sup>1</sup>, 高青山<sup>1</sup>, 王海英<sup>2</sup>, 那仁朝克图<sup>1</sup>

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:** **目的** 研究砂茴香 *Ferula bungeana* 全草石油醚提取物的化学成分。 **方法** 运用经典硅胶柱色谱及薄层色谱对砂茴香全草石油醚提取物的化学成分进行研究, 并对分离得到化合物的波谱数据进行分析, 确定其结构。同时, 通过考察分离得到化合物对脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的小鼠 RAW264.7 巨噬细胞培养液中一氧化氮 (NO) 释放量的影响, 评价其对炎症反应的抑制作用。 **结果** 从砂茴香全草石油醚提取物中分离鉴定了 8 个苯丙烷类化合物, 分别为 1-异戊烯酰氧基-1-(3'-羟基-4',5'-亚甲二氧基)苯基-2-当归酰氧基丙烷 (1)、肉豆蔻醚 (2)、深黄水芹酮 (3)、diversivittatin (4)、2-epilaserine (5)、1-羟基-1-(3'-甲氧基-4',5'-亚甲二氧基)苯基丙烷 (6)、1-羟基-1-(3',4'-亚甲二氧基-2',5'-二甲氧基)苯基丙烷 (7)、1-羰基-1-(3'-羟基-4',5'-亚甲二氧基)苯基丙烷 (8)。活性筛选结果显示, 在 10 μmol/L 浓度下, 化合物 1、4 和 5 具有良好的 NO 抑制活性, 其抑制率分别为 78.5%、85.9% 和 79.0%。 **结论** 化合物 1 为新化合物, 命名为砂茴香二酯; 化合物 2 和 3 为首次从砂茴香中分离得到, 而化合物 4~8 均为首次从阿魏属植物中分离得到。化合物 1、4 和 5 具有良好的抗炎活性。

**关键词:** 阿魏属; 砂茴香; 苯丙烷类; 砂茴香二酯; 肉豆蔻醚; 深黄水芹酮; 抗炎活性

**中图分类号:** R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)08-3000-06

**DOI:** 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.08.013

## Study on phenylpropanoids in whole plant from *Ferula bungeana*

WANG Qinghu<sup>1</sup>, GAO Qingshan<sup>1</sup>, WANG Haiying<sup>2</sup>, Na-ren-chao-ke-tu<sup>1</sup>

1. College of Traditional Mongolian Medicine, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, China

2. Affiliated hospital, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028000, China

**Abstract: Objective** To clarify the chemical constituents of the petroleum ether extract from the whole plant of *Ferula bungeana*. **Methods** The chemical constituents of petroleum ether extract from the whole plant of *F. bungeana* were studied using classical silica gel column chromatography and thin-layer chromatography. The spectral data of the isolated compounds were analyzed to determine their structures. Meanwhile, by examining the effect of the isolated compounds on nitric oxide (NO) release in the culture medium of RAW264.7 macrophages induced by lipopolysaccharide (LPS), their inhibitory effect on inflammatory responses was evaluated. **Results** From the petroleum ether extract of *F. bungeana* whole plant, eight compounds were isolated and identified as 1-isoprenyloxy-1-(3'-hydroxy-4',5'-methylenedioxy)phenyl-2-angeloyloxy-phenylpropane (1), myristicin (2), crocatorone (3), diversivittatin (4), 2-epilaserine (5), 1-hydroxy-1-(3'-methoxy-4',5'-methylenedioxy)-phenylpropane (6), 1-hydroxy-1-(3',4'-methylenedioxy-2',5'-dimethoxy)-phenylpropane (7), 1-carbonyl-1-(3'-hydroxy-4',5'-methylenedioxy)-phenylpropane (8). The activity screening results showed that compounds 1, 4, and 5 exhibited good NO inhibitory activity at a concentration of 10 μmol/L, with inhibition rates of 78.5%, 85.9%, and 79.0%, respectively. **Conclusions** Compound 1 is a new compound, named ferubundiester; Compounds 2 and 5 were isolated from *F. bungeana* for the first time, and compounds 4—8 were obtained from plants of the *Ferula* genus for the first time. Compounds 1, 4, and 5 exhibit similar potent anti-inflammatory activity.

**Key Words:** *Ferula* genus; *Ferula bungeana* Kitagawa; phenylpropanoids; ferubundiester; myristicin; crocatorone; anti-inflammatory activity

收稿日期: 2026-02-18

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目 (2025QN08004); 内蒙古自治区教育厅一流学科专项项目 (YLXKZX-NMD-004); 蒙药研发国家地方联合工程研究中心开放基金项目 (MDK2024010)

作者简介: 王青虎, 教授, 博士生导师, 从事蒙药有效物质基础及其药理研究。E-mail: wqh693@163.com

阿魏属植物在我国有 25 种，主产于新疆，少数种类在内蒙古、甘肃、宁夏、西藏等省区也有分布<sup>[1]</sup>。阿魏属植物化学成分主要为倍半萜-香豆素杂合化合物、苯丙烷类、倍半萜类、黄酮类及其他类等<sup>[2-3]</sup>，具有抗炎<sup>[4]</sup>、抗氧化<sup>[5]</sup>、抗肿瘤<sup>[6-7]</sup>、镇痛和镇静<sup>[8]</sup>等生物活性。

砂茴香 *Ferula bungeana* Kitagawa，又名硬阿魏，是我国特有且具药用价值的阿魏属植物之一，以根、种子、全草入药，在内蒙古中东部沙漠地区分布较广，资源丰富，但其化学成分尚未见到报道。课题组前期<sup>[9-10]</sup>已从砂茴香全草二氯甲烷提取物中分离得到 34 个化合物，其中 20 个为倍半萜-香豆素杂合化合物、5 个炔类、4 个脂肪酸类、3 个香豆素及 2 个其它类。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，且未见不良反应。课题组为了继续寻找抗炎活性天然产物，本实验对砂茴香全草石油醚提取物化学成分及抗炎活性进行研究，分离得到 8 个苯丙烷类化合物，分别为 1-异戊

烯酰氧基-1-(3'-羟基-4',5'-亚甲二氧基)苯基-2-当归酰氧基丙烷 [1-isoprenyloxy-1-(3'-hydroxy-4',5'-methylenedioxy)phenyl-2-angeloyloxypropane, **1**]、肉豆蔻醚 (myristicin, **2**)、深黄水芹酮 (crocatone, **3**)、diversivittatin (**4**)、2-epilaserine (**5**)、1-羟基-1-(3'-甲氧基-4',5'-亚甲二氧基)苯基丙烷 [1-hydroxy-1-(3'-methoxy-4',5'-methylenedioxy)-phenylpropane, **6**]、1-羟基-1-(3',4'-亚甲二氧基-2',5'-二甲氧基)苯基丙烷 [1-hydroxy-1-(3',4'-methylenedioxy-2',5'-dimethoxy)-phenylpropane, **7**]、1-羰基-1-(3'-羟基-4',5'-亚甲二氧基)苯基丙烷 [1-carbonyl-1-(3'-hydroxy-4',5'-methylenedioxy)-phenylpropane, **8**]，结构见图 1。其中化合物 **1** 为新化合物，命名为砂茴香二酯；化合物 **2** 和 **3** 为首次从砂茴香中分离得到，而化合物 **4**~**8** 均为首次从阿魏属植物中分离得到。通过考察 8 个苯丙烷类化合物对脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的小鼠 RAW264.7 巨噬细胞培养液中一氧化氮释放量的影响，评价其对炎症反应的抑制作用。

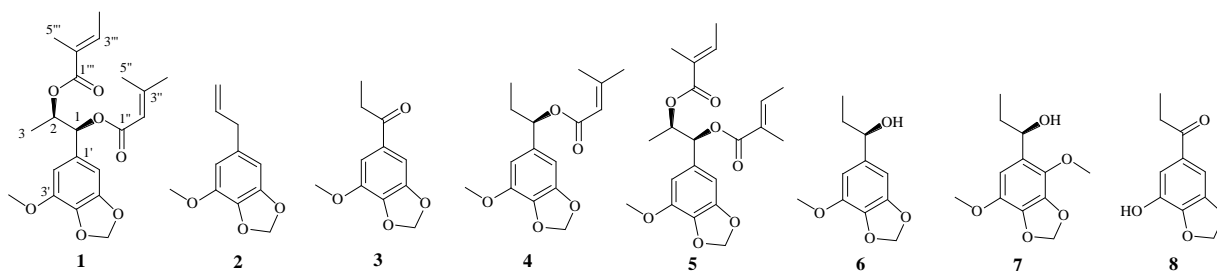


图 1 化合物 1~8 的结构

Fig. 1 Structures of compounds 1—8

## 1 材料

Bruker AVAIIVCEIII 500 型核磁共振波谱仪 (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 (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); AUW220D 型电子天平 (日本岛津); 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 型低速离心机 (安徽中科中佳科学仪器有限公司); HYCD-290 型医用冷藏冷冻箱 (中国海尔公司); SX-700 型高压蒸汽灭菌锅 (日本 TOMY 公司)。

RAW264.7 巨噬细胞 (中国科学院上海细胞库); 胎牛血清 (FBS, 美国 Gibco 公司); DMEM 高糖培养基 (美国 Gibco 公司); 青霉素-链霉素双

抗 (美国 Gibco 公司); 二甲基亚砜 (DMSO, 北京索莱宝科技有限公司); 一氧化氮检测试剂盒 (碧云天生物技术有限公司); 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 °C)、醋酸乙酯、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。样品 (编号 20230525) 保存于内蒙古民族大学蒙药学院蒙药学博士生实验室备用。

## 2 提取与分离

砂茴香全草 2.0 kg，用 10 倍量的石油醚回流提取 3 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 (298 g)，其得率为 14.9%。

称取砂茴香石油醚提取物 260 g，放入烧杯中

加二氯甲烷适量，溶解，溶解后加少量硅胶，搅拌均匀，自然晾干。用湿法拌样后的样品装入已装好的硅胶柱色谱，采用环己烷-醋酸乙酯（100：1～10：1）进行梯度洗脱，洗脱液以500 mL为1份，减压回收溶剂至干，用二氯甲烷溶解，溶液经TLC检测合并相同部分，得到5个流分（Fr. 1～5）。

Fr. 1（13 g）经硅胶柱色谱，以环己烷：醋酸乙酯（100：1）洗脱，得到化合物2（31 mg）。母液浓缩至5 mL，以石油醚-醋酸乙酯（21：1）为展开剂，用薄层色谱进行制备，得到化合物3（58 mg）。Fr. 2（26 g）经硅胶柱色谱，以环己烷-醋酸乙酯（100：1）洗脱，洗脱液经TLC检测合并相同部分，自然晾干，得到化合物4（3 g）。Fr. 3（30 g）经硅胶柱色谱，以环己烷-醋酸乙酯（80：1）洗脱，洗脱液经TLC检测，分段为2份（Fr. 3A、3B）。Fr. 3A（13 g）经硅胶柱色谱，以环己烷-醋酸乙酯（90：1）洗脱，洗脱液经TLC检测合并相同部分，自然晾干，得到化合物5（5 g）；Fr. 3B（2 g）加二氯甲烷适量，溶解，溶液以石油醚-醋酸乙酯（15：1）为流动相，进行薄层色谱制备，得到化合物1（49 mg）。Fr. 4（4 g）经硅胶柱色谱，以环己烷-醋酸乙酯（60：1）洗脱，洗脱液经TLC检测，分段为2份（Fr. 4A、4B）。Fr. 4A（128 mg）和Fr. 4B（214 mg）分别加二氯甲烷适量，溶解，溶液以石油醚-醋酸乙酯（10：1）为流动相，进行薄层色谱制备，得到化合物6（25 mg）和7（18 mg）。

Fr. 5（1.3 g）拌样后装入已装好的硅胶柱色谱，以环己烷-醋酸乙酯（20：1）洗脱，洗脱液经TLC检测合并相同部分，并浓缩至2 mL，以石油醚-醋酸乙酯（7：1）为流动相，用薄层色谱进行制备，得到化合物8（16 mg）。

### 3 结构鉴定

化合物1：淡黄色油状物，易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等。HR-ESI-MS  $m/z$  391.177 2 [M+H]<sup>+</sup>（计算值 391.175 7，C<sub>21</sub>H<sub>27</sub>O<sub>7</sub>），提示分子式为C<sub>21</sub>H<sub>26</sub>O<sub>7</sub>。UV (MeOH)  $\lambda_{\max}$  (nm) (log  $\epsilon$ ): 219 (4.17)。IR (KBr)谱中在1 720、1 228、1 150 cm<sup>-1</sup>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1 633、1 606、1 512 cm<sup>-1</sup>处有吸收峰，说明了化合物1的结构中双键和苯环的存在。

<sup>1</sup>H-NMR谱（500 MHz, CDCl<sub>3</sub>, 表1）中给出了2个间位取代的芳香质子信号 $\delta_{\text{H}}$  6.56 (1H, brs, H-2')和 $\delta_{\text{H}}$  6.59 (1H, brs, H-6')

表1 化合物1的<sup>1</sup>H-NMR与<sup>13</sup>C-NMR数据 (CDCl<sub>3</sub>, 500/125 MHz)

Table 1 <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C-NMR data for compound 1 (CDCl<sub>3</sub>, 500/125 MHz)

碳位	$\delta_{\text{H}}$	$\delta_{\text{C}}$
1	5.73 (1H, d, $J = 6.5$ Hz)	76.4
2	5.31 (1H, m)	71.4
3	1.17 (3H, d, $J = 6.5$ Hz)	16.8
1'	—	131.9
2'	6.56 (1H, brs)	106.9
3'	—	143.5
4'	—	135.2
5'	—	148.9
6'	6.59 (1H, brs)	101.7
1''	—	165.4
2''	5.72 (1H, s)	115.6
3''	—	158.0
4''	2.14 (3H, s)	20.3
5''	1.90 (3H, s)	27.5
1'''	—	167.3
2'''	—	127.9
3'''	6.08 (1H, m)	137.9
4'''	1.98 (3H, dd, $J = 7.0, 1.0$ Hz)	15.7
5'''	1.87 (3H, s)	20.6
-OCH <sub>3</sub>	3.91 (3H, s)	56.6
-OCH <sub>2</sub> O-	5.98 (2H, s)	101.6

子信号 $\delta_{\text{H}}$  5.72 (1H, s, H-2'')和 $\delta_{\text{H}}$  6.08 (1H, m, H-3''')。此外，<sup>1</sup>H-NMR中还给出5个甲基质子信号，分别在 $\delta_{\text{H}}$  1.17 (3H, d,  $J = 6.5$  Hz, H-3), 1.87 (3H, s, H-5'''), 1.90 (3H, s, H-5''), 1.98 (3H, dd,  $J = 7.0, 1.0$  Hz, H-4'''), 2.14 (3H, s, H-4'')；1个甲氧基质子信号 $\delta_{\text{H}}$  3.91 (3H, s, -OCH<sub>3</sub>)，1个亚甲二氧基质子信号 $\delta_{\text{H}}$  5.98 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-)和2个连氧次甲基质子信号 $\delta_{\text{H}}$  5.31 (1H, m, H-2), 5.73 (1H, d,  $J = 6.5$  Hz, H-1)。<sup>1</sup>H-NMR中这些质子和质子化碳通过HSQC实验明确指认。

<sup>13</sup>C-NMR谱（125 MHz, CDCl<sub>3</sub>, 表1）中给出1组芳香碳信号 $\delta_{\text{C}}$  101.7 (C-6')、106.9 (C-2')、131.9 (C-1')、135.2 (C-4')、143.5 (C-3')、148.9 (C-5')及1个丙基碳信号 $\delta_{\text{C}}$  16.8 (C-3)、71.4 (C-2)和76.4 (C-1)，并在HMBC谱中 $\delta_{\text{H}}$  1.17 (3H, d,  $J = 6.5$  Hz)与C-1( $\delta_{\text{C}}$  76.4)和C-2( $\delta_{\text{C}}$  71.4)相关， $\delta_{\text{H}}$  5.31 (1H, m, H-2)与C-1'( $\delta_{\text{C}}$  131.9)相关，提示结构中苯丙烷的存在。另外，<sup>13</sup>C-NMR谱<sup>[11]</sup>中还给出1个当归酰氧基碳信号 $\delta_{\text{C}}$  15.7 (C-4'''), 137.9 (C-3'''), 127.9 (C-2''')

167.3 (C-1'') 和 20.6 (C-5'') 及 1 个异戊烯酰氧基碳信号  $\delta_c$  20.3 (C-4'), 158.0 (C-3''), 115.6 (C-2''), 165.4 (C-1'), 27.5 (C-5'')。同时, 还给出 1 个甲氧基碳信号  $\delta_c$  56.6 (-OCH<sub>3</sub>) 和 1 个亚甲二氧基碳信号  $\delta_c$  101.6 (-OCH<sub>2</sub>O-)。

上述化合物 **1** 的 NMR 数据与文献中报道的 2-epilaserine<sup>[11]</sup> 基本相似, 除了连接于 C-1 的 1 个当归酰氧基消失, 取而代之的是 1 个异戊烯酰氧基。化合物 **1** 的平面结构是通过其 HMBC 谱进一步验证。在 HMBC 谱(图 2)中,  $\delta_H$  3.91 (-OCH<sub>3</sub>) 与  $\delta_c$  143.5 (C-3') 相关, 提示甲氧基连接于苯环的 3' 位;  $\delta_H$  5.98 (-OCH<sub>2</sub>O-) 与  $\delta_c$  135.2 (C-4') 和 148.9 (C-5') 相关, 提示亚甲二氧基连接在苯环的 4', 5' 位;  $\delta_H$  5.31 (H-2) 与  $\delta_c$  167.3 (C-1'') 相关, 而 5.73 (H-1) 与  $\delta_c$  165.4 (C-1') 相关, 提示异戊烯酰氧基连接于苯丙烷的 1 位, 而当归酰氧基连接于苯丙烷的 2 位。

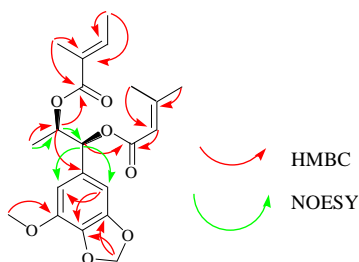


图 2 化合物 **1** 的关键 HMBC 和 NOESY 相关  
Fig. 2 Key HMBC spectrum and NOESY spectrum of compound **1**

化合物 **1** 的 C-1 和 C-2 的相对构型是通过文献报道<sup>[11]</sup> 的相关数据比较及结合 NOESY 谱的分析。在 NOESY 谱(图 2)中,  $\delta_H$  1.17 (H-3 $\alpha$ ) 与 5.31 (H-2) 相关, 5.31 (H-2) 与 5.73 (H-1) 相关, 提示 H-1 和 H-2 的相对构型为  $\alpha$  型。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 1S,2R 构型的计算谱图高度吻合(图 3)。经文献检索为未见文献报道的新化合物, 命名为砂茴香二酯(ferubundiester)。

化合物 **2**: 淡黄色油状物, 易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等有机溶剂。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 6.41 (1H, brs, H-6'), 6.37 (1H, brs, H-2'), 5.95 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-), 5.93 (1H, m, H-2), 5.09 (2H, m, H-3), 3.91 (3H, s, -OCH<sub>3</sub>), 3.32 (2H, d,  $J$  = 13.0 Hz, H-1); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 148.8 (C-5'), 143.5 (C-3'), 137.4 (C-2), 134.6 (C-1'), 133.2 (C-4'), 115.9 (C-3), 107.6 (C-2'), 102.7 (C-6'), 101.3 (-OCH<sub>2</sub>O-), 56.5

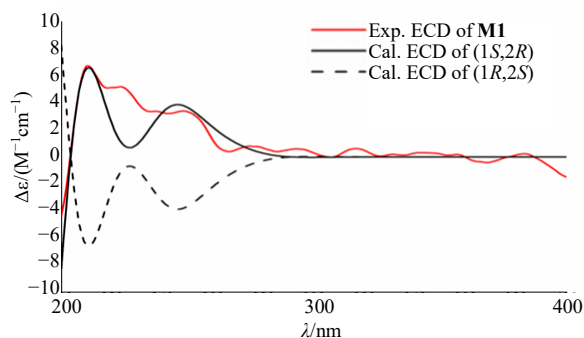


图 3 化合物 **1** 的计算和实验 CD 光谱

Fig. 3 Calculated and experimental CD spectra of compound **1**

(-OCH<sub>3</sub>), 40.3 (C-1)。与文献报道<sup>[12]</sup> 对照, 鉴定化合物 **2** 为肉豆蔻醚。

化合物 **3**: 淡黄色油状物, 易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等有机溶剂。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 7.23 (1H, brs, H-2'), 7.09 (1H, brs, H-6'), 6.02 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-), 3.91 (3H, s, -OCH<sub>3</sub>), 2.90 (2H, m, H-2), 1.18 (3H, t,  $J$  = 7.5 Hz, H-3); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 198.8 (C-1), 148.8 (C-5'), 143.4 (C-3'), 139.4 (C-4'), 131.8 (C-1'), 108.4 (C-2'), 102.5 (C-6'), 102.3 (-OCH<sub>2</sub>O-), 56.5 (-OCH<sub>3</sub>), 31.6 (C-2), 8.41 (C-3)。与文献报道<sup>[13]</sup> 对照, 鉴定化合物 **3** 为深黄水芹酮。

化合物 **4**: 淡黄色油状物, 易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等有机溶剂。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 6.52 (1H, brs, H-6'), 6.51 (1H, brs, H-2'), 6.03 (1H, d,  $J$  = 7.0 Hz, H-2''), 5.89 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-), 5.61 (1H, t,  $J$  = 7.0 Hz, H-1), 3.86 (3H, s, -OCH<sub>3</sub>), 1.96 (3H, d,  $J$  = 7.0 Hz, H-1'), 1.90 (1H, m, H-2a), 1.88 (3H, s, H-5''), 1.77 (1H, m, H-2b), 0.87 (3H, t,  $J$  = 7.5 Hz, H-3); <sup>13</sup>C-NMR (125 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 167.1 (C-4''), 148.9 (C-5'), 143.3 (C-3'), 137.9 (C-2''), 135.5 (C-1'), 134.6 (C-4'), 127.9 (C-3''), 106.4 (C-2'), 101.4 (-OCH<sub>2</sub>O-), 100.5 (C-6'), 77.0 (C-1), 56.5 (-OCH<sub>3</sub>), 29.6 (C-2), 20.6 (C-5''), 15.7 (C-1'), 9.96 (C-3)。与文献报道<sup>[14]</sup> 对照, 鉴定化合物 **4** 为 diversivittatin。

化合物 **5**: 淡黄色油状物, 易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等有机溶剂。<sup>1</sup>H-NMR (500 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 6.60 (1H, brs, H-6'), 6.57 (1H, brs, H-2'), 6.10 (1H, d,  $J$  = 7.5 Hz, H-2''), 6.05 (1H, d,  $J$  = 7.5 Hz, H-2'''), 5.96 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-), 5.81 (1H, t,  $J$  = 7.0 Hz, H-1), 5.38 (1H, t,  $J$  = 7.0 Hz, H-2), 3.89 (3H, s, -OCH<sub>3</sub>), 1.99 (3H, d,  $J$  = 8.0 Hz, H-1'), 1.95 (3H, d,  $J$  = 8.0 Hz, H-

1'''), 1.89 (3H, s, H-5''), 1.86 (3H, s, H-5'''), 1.19 (3H, d,  $J = 6.0$  Hz, H-3);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 166.9 (C-4''), 166.5 (C-4'''), 149.0 (C-5'), 143.5 (C-3'), 138.9 (C-2''), 138.1 (C-2'''), 135.5 (C-4'), 131.6 (C-1'), 127.7 (C-3'''), 127.4 (C-3''), 107.3 (C-2'), 101.6 (-OCH<sub>2</sub>O-), 101.5 (C-6'), 77.0 (C-1), 71.2 (C-2), 56.5 (-OCH<sub>3</sub>), 20.4 (C-5''), 20.3 (C-5'''), 16.7 (C-3), 15.7 (C-1''), 15.6 (C-1'''). 与文献报道<sup>[11]</sup>对照, 鉴定化合物 **5** 为 2-epilaserine。

化合物 **6**: 淡黄色油状物, 易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等有机溶剂。 $^1\text{H-NMR}$  (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 6.55 (1H, brs, H-6'), 6.53 (1H, brs, H-2'), 5.97 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-), 4.51 (1H, t,  $J = 7.0$  Hz, H-1), 3.92 (3H, s, -OCH<sub>3</sub>), 1.82 (1H, m, H-2a), 1.71 (1H, m, H-2b), 0.92 (3H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-3);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 148.8 (C-5'), 143.5 (C-3'), 139.5 (C-1'), 134.4 (C-4'), 105.3 (C-2'), 101.4 (-OCH<sub>2</sub>O-), 100.1 (C-6'), 76.1 (C-1), 55.9 (-OCH<sub>3</sub>), 31.9 (C-2), 10.2 (C-3)。与文献报道<sup>[15]</sup>对照, 鉴定化合物 **6** 为 1-羟基-1-(3'-甲氧基-4',5'-亚甲二氧基)苯基丙烷。

化合物 **7**: 淡黄色油状物, 易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等有机溶剂。 $^1\text{H-NMR}$  (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 6.52 (1H, s, H-6'), 5.98 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-), 4.75 (1H, t,  $J = 7.0$  Hz, H-1), 3.94 (3H, s, 5'-OCH<sub>3</sub>), 3.88 (3H, s, 2'-OCH<sub>3</sub>), 1.80 (1H, m, H-2a), 1.73 (1H, m, H-2b), 0.97 (3H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-3);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 139.1 (C-5'), 138.3 (C-4'), 135.9 (C-3'), 135.6 (C-2'), 129.8 (C-1'), 105.5 (C-6'), 101.7 (-OCH<sub>2</sub>O-), 72.0 (C-1), 60.1 (5'-OCH<sub>3</sub>), 56.9 (2'-OCH<sub>3</sub>), 31.1 (C-2), 10.5 (C-3)。与文献报道<sup>[16]</sup>对照, 鉴定化合物 **7** 为 1-羟基-1-(3',4'-亚甲二氧基-2',5'-二甲氧基)苯基丙烷。

化合物 **8**: 淡黄色油状物, 易溶于二氯甲烷、醋酸乙酯等有机溶剂。 $^1\text{H-NMR}$  (500 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 6.63 (1H, brs, H-6'), 6.58 (1H, brs, H-2'), 5.89 (2H, s, -OCH<sub>2</sub>O-), 4.73 (1H, t,  $J = 7.0$  Hz, H-1), 2.80 (2H, m, H-2), 0.96 (3H, t,  $J = 7.5$  Hz, H-3);  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 198.1 (C-1), 149.5 (C-5'), 144.8 (C-3'), 137.2 (C-1'), 135.3 (C-4'), 106.5 (C-2'), 101.8 (-OCH<sub>2</sub>O-), 100.6 (C-6'), 33.3 (C-2), 9.90 (C-3)。与文献报道<sup>[17]</sup>对照, 鉴定化合物 **8** 为 1-羟基-1-(3'-羟基-4',5'-亚甲二氧基)苯基丙烷。

#### 4 抗炎活性测定

按文献的方法<sup>[18]</sup>建立 LPS 诱导 RAW 264.7 细

胞炎症模型。用 6 孔板每孔加入 2 mL 细胞悬液 (即  $4 \times 10^5$  个细胞/孔), 轻轻晃动平板使细胞均匀分布。放入 37 °C、5% CO<sub>2</sub> 培养箱, 静置培养 24 h (让细胞完全贴壁, 恢复生长状态)。24 h 后给细胞进行分组, 空白组、模型组、样品组。将 6 孔板放回 37 °C、5% CO<sub>2</sub> 培养箱, 同一浓度设 3 个复孔 (每组平行 3 次), 模型组、样品组每孔加 LPS 诱导 (终浓度为 20  $\mu\text{g/mL}$ ), 孵育 24 h。取出 6 孔板, 将每孔上清液轻轻转移至 15 mL 离心管 (避免触碰到孔底贴壁细胞), 4 °C、1 500 r/min 离心 10 min (去除少量漂浮细胞碎片)。用移液枪吸取离心后的上清液 2 mL, 转移至无菌 EP 管, 标记组别。取另一 96 孔板, 依次加入 50  $\mu\text{L}$  不同浓度的 NaNO<sub>2</sub> 标准品, 每组 3 个复孔。每孔加 50  $\mu\text{L}$  细胞上清液, 加 50  $\mu\text{L}$  Griess I 试剂, 再加 50  $\mu\text{L}$  Griess II 试剂, 混匀, 用酶标仪在 540 nm 波长处测定吸光度 (A) 值, 按文献方法<sup>[19]</sup> 计算细胞上清液中 NO 浓度。实验结果显示, 在 10  $\mu\text{mol/L}$  浓度下, 化合物 **2**、**3**、**6**~**8** 未显示明显活性, 但化合物 **1**、**4** 和 **5** 具有良好的 NO 抑制活性, 其抑制率分别为 78.5%、85.9% 和 79.0%。

#### 5 讨论

苯丙烷类及倍半萜-香豆素杂化合物是阿魏属植物的特征性成分, 也是具有抗炎、抗氧化及抗肿瘤活性的成分<sup>[2]</sup>。课题组前期<sup>[9-10]</sup>从砂茴香全草二氯甲烷提取物中分离得到 20 个倍半萜-香豆素杂化合物, 其中 1 个为新化合物。本研究针对砂茴香全草石油醚提取物进行分离鉴定, 得到 15 个化合物, 其中 8 个为苯丙烷类, 其他均为二氯甲烷提取物中分离得到化合物, 2 个脂肪酸、3 个炔类及 2 个香豆素。8 个苯丙烷类化合物, 其中化合物 **1** 为新化合物, 其余 7 个均为砂茴香全草中首次分离得到。同时, 构建 RAW 264.7 细胞炎症模型, 考察分离得到 8 个苯丙烷的抑制 NO 生成活性, 化合物 **1**、**4** 和 **5** 在 10  $\mu\text{mol/L}$  浓度下对 LPS 诱导的 RAW 264.7 小鼠巨噬细胞炎症模型上显示良好 NO 抑制活性。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 王路, 孙睿, 徐萌, 等. 阿魏化学成分、药理作用及毒理研究进展 [J]. 世界中医药, 2020, 15(24): 3887-3894.
- [2] 杨秀伟. 阿魏属药用植物的物质基础 [J]. 中国现代中药, 2018, 20(2): 123-144.
- [3] 邢亚超, 李宁, 薛洁. 阿魏属植物化学成分研究进展 [J]. 沈阳药科大学学报, 2012, 29(9): 730-741.

- [4] Xing Y C, Li N, Zhou D, *et al.* Sesquiterpene coumarins from *Ferula sinkiangensis* act as neuroinflammation inhibitors [J]. *Planta Med*, 2017, 83(1/2): 135-142.
- [5] Teng L, Ma G Z, Li L, *et al.* Karatavicinol a, a new anti-ulcer sesquiterpene coumarin from *Ferula sinkiangensis* [J]. *Chem Nat Compd*, 2013, 49(4): 606-609.
- [6] 高源, 邢亚超, 郭俐含, 等. 新疆阿魏树脂不同极性部位对人肺癌细胞的体外抑制作用研究 [J]. *现代药物与临床*, 2015, 30(4): 366-369.
- [7] Li G Z, Wang J C, Li X J, *et al.* An unusual sesquiterpene coumarin from the seeds of *Ferula sinkiangensis* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2016, 18(9): 891-896.
- [8] Ye B G, 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(12): 1161-1170.
- [9] 王光明, 朝梁, 宋亚伟, 等. 砂茴香化学成分研究 [J]. *中国药学杂志*, 2024, 59(23): 2216-2225.
- [10] Kang X R, Wu L L, Zhao C L, *et al.* A new sesquiterpene coumarins from *Ferula bungeana* Kitagawa [J]. *Nat Prod Res*, 2025, 39(14): 4112-4116.
- [11] Yang R L, Yan Z H, Lu Y. Cytotoxic phenylpropanoids from carrot [J]. *J Agric Food Chem*, 2008, 56(9): 3024-3027.
- [12] You C X, Jiang H Y, Zhang W J, *et al.* Contact toxicity and repellency of the main components from the essential oil of *Clausena anisum-olens* against two stored product insects [J]. *J Insect Sci*, 2015, 15(1): 87.
- [13] Babekov A U, Khasanova K I, Eshbakova K A, *et al.* Chemical constituents of *Ferula lapidosa* [J]. *Chem Nat Compd*, 2024, 60(1): 177-179.
- [14] Iranshahi M, Hosseini S T, Sahebkar A H, *et al.* Diversivittatin, a new phenylpropanoid derivative from the roots of *Ferula diversivittata* [J]. *Chem Nat Compd*, 2010, 46(2): 192-194.
- [15] Zhang M M, Kamoldinov K S, Kodirova D R, *et al.* Chemical constituents from *Ferula samarkandica* [J]. *Chem Nat Compd*, 2024, 60(2): 367-370.
- [16] Sreedhar E, Sateesh Chandra Kumar R, Venkateswar Reddy G, *et al.* The first total synthesis of neohelmanticins A–D, amino derivatives of the 1, 2-dihydroxypropane core and biological evaluation [J]. *Tetrahedron Asymmetry*, 2009, 20(4): 440-448.
- [17] Sreedhar E, Sateesh Chandra Kumar R, Venkateswar Reddy G, *et al.* The first total synthesis of neohelmanticins A–D, amino derivatives of the 1, 2-dihydroxypropane core and biological evaluation [J]. *Tetrahedron Asymmetry*, 2009, 20(4): 440-448.
- [18] Xue G M, Xue J F, Zhao C G, *et al.* Sesquiterpenoids from *Artemisia argyi* and their NO production inhibitory activity in RAW<sub>264.7</sub> cells [J]. *Nat Prod Res*, 2021, 35(17): 2887-2894.
- [19] 贾瑶瑶, 冯好, 刘艺, 等. 黑风藤中一个新的降桉叶烷型倍半萜 [J]. *药学报*, 2025, 60(9): 2858-2862.

[责任编辑 王文倩]