

- L. [J]. *J Integr Plant Biol*, 2006, 48(8): 991-995.
- [23] 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 olitorius* L. (Tiliaceae) [J]. *Chem Pharm Bull (Tokyo)*, 1997, 45(3): 464-469.
- [24] 杨梦, 郝志友, 周诗琪, 等. 山茱萸果实化学成分及其抗阿尔茨海默症活性研究[J]. *药学报*, 2022, 57(12): 3608-3615.
- [25] 薛涛涛, 唐志书, 段金殿, 等. 药蜀葵茎叶化学成分及其体外抑制 α -葡萄糖苷酶和5-脂氧合酶活性研究[J]. *中草药*, 2023, 54(10): 3060-3070.
- [26] 付珂, 张亚芳, 曾莉, 等. 刺五加苷B的生物活性及提取分离研究进展[J/OL]. *天然产物研究与开发*, 1-22 (2025-02-28) [2025-06-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1335.Q.20250228.1112.004.html>.

黔产白花前胡化学成分及其抗菌活性研究

蒲婉君^{1,2}, 林开琴¹, 张妮^{1,2}, 江艳华³, 李金玉^{1,2}, 李珂^{1,2}, 刘翰飞^{1,2*}, 潘卫东^{1*}

[1. 贵州医科大学药学院中药功效成分发掘与利用全国重点实验室, 贵州贵阳 550014; 2. 贵州省天然产物研究中心, 贵州贵阳 550014; 3. 黔草堂金煌(贵州)中药材种植有限公司, 贵州毕节 553208]

摘要: 目的 研究黔产白花前胡 *Peucedanum praeruptorum* Dunn 的化学成分及其抗菌活性。方法 采用硅胶、Sephadex LH-20、RP-18 反相硅胶、TLC 及半制备 HPLC 进行分离纯化, 根据理化性质及波谱数据鉴定所得化合物的结构。采用微量稀释法测定抗菌活性。结果 从中分离得到 14 个化合物, 分别鉴定为前胡香豆素 C (1)、日本前胡醇 (2)、nodakenetin (3)、芸香毒素 (4)、6-羟基-7, 8-二甲氧基香豆素 (5)、1-hexadecanoyl propan-2, 3-diol (6)、falcariindiol (7)、1, 3-dimyrustin (8)、 β -谷甾醇 (9)、angelicol A (10)、irisflorein (11)、pinoresinol (12)、balanophonin B (13)、邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯 (14)。化合物 7 对青枯假单胞菌、枯草芽胞杆菌、根癌农杆菌、产气杆菌的最小抑菌浓度分别为 25、6.25、12.5、12.5 $\mu\text{mol/L}$ 。结论 化合物 5、6、8、10~13 为首次从前胡属植物中分离得到。化合物 7 对青枯假单胞菌、枯草芽胞杆菌、根癌农杆菌、产气杆菌具有良好的抑制作用。

关键词: 白花前胡; 化学成分; 分离纯化; 结构鉴定; 抗菌活性

中图分类号: R284.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2026)02-0479-06

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2026.02.018

Chemical constituents of *Peucedanum praeruptorum* from Guizhou and their antibacterial activity

PU Wan-jun^{1,2}, LIN Kai-qin¹, ZHANG Ni^{1,2}, JIANG Yan-hua³, LI Jin-yu^{1,2}, LI Ke^{1,2}, LIU Han-fei^{1,2*}, PAN Wei-dong^{1*}

[1. State Key Laboratory of Discovery and Utilization of Functional Components in Traditional Chinese Medicine, School of Pharmaceutical Sciences, Guizhou Medical University, Guiyang 550014, China; 2. Natural Products Research Center of Guizhou Province, Guiyang 550014, China; 3. Qiancaotang Jinhuang (Guizhou) Chinese Herbal Medicine Planting Co., Ltd., Bijie 553208]

ABSTRACT: AIM To study the chemical constituents of *Peucedanum praeruptorum* Dunn from Guizhou and their antibacterial activity. **METHODS** Separation and purification were performed using silica gel, Sephadex LH-20, RP-18 reverse phase silica gel, TLC and semi-preparative HPLC, then the structures of obtained compounds were identified by physicochemical properties and spectral data. The antibacterial activity was

收稿日期: 2025-06-18

基金项目: 贵州省科技厅项目(黔科合支撑[2022]一般125); 国家自然科学基金项目(32160102)

作者简介: 蒲婉君(1996—), 女, 硕士在读, 研究方向为药物化学。E-mail: 2289546377@qq.com

*通信作者: 刘翰飞(1995—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为中药分析。E-mail: 1005589153@qq.com

潘卫东(1976—), 男, 研究员, 从事民族药及喀斯特特色药用植物活性成分研究。E-mail: wdpan@163.com

determined by microdilution method. **RESULTS** Fourteen compounds were isolated and identified as 2*H*, 8*H*-benzo [1, 2-*b*: 3, 4-*b'*] dipyrans-2-one, 10-(acetyloxy)-9, 10-dihydro-9-hydroxy-8, 8-dimethyl-, (9*S*, 10*S*) - (+) -qianhucoumarin C (1), decursinol (2), nodakenetin (3), rutaretin (4), 2*H*-1-benzopyran-2-one, 6-hydroxy-7, 8-dimethoxy-6-hydroxy-7, 8-dimethoxycoumarin (5), 1-hexadecanoyl propan-2, 3-diol (6), faltarindiol (7), 1, 3-dimyristin (8), β -sitosterol (9), angelicol A (10), irisflorein (11), pinoselin (12), balanophonin B (13), 1, 2-benzenedicarboxylic acid, bis (ethyl) hexyl ester (14). Minimum inhibitory concentrations of compound 7 against *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Agrobacterium rhizogenum* and *Aerogenic bacillus* were 25, 6.25, 12.5 and 12.5 $\mu\text{mol/L}$, respectively. **CONCLUSION** Compounds 5, 6, 8, 10-13 are isolated from *Peucedanum* genus for the first time. Compound 7 has good inhibitory effects on *P. aeruginosa*, *B. subtilis*, *A. rhizogenum* and *A. bacillus*.

KEY WORDS: *Peucedanum praeruptorum* Dunn; chemical constituents; isolation and purification; structural identification; antibacterial activity

白花前胡 *Peucedanum praeruptorum* Dunn 为伞形科前胡属多年生药用植物, 其干燥根可入药, 名为前胡, 在我国临床应用历史源远流长, 其记载最早可以追溯到《名医别录》^[1]。前胡性微寒, 味苦辛, 主归肺经, 具有散风清热、降气化痰之效, 临床常用于痰热壅肺所致之咳嗽痰稠、胸膈满闷等症, 为止咳平喘要药, 现为多版《中国药典》收录的道地药材^[2]。

白花前胡在我国资源丰富, 分布于长江流域至云贵高原的 12 个省级行政区, 包括贵州、甘肃等传统产区及福建武夷山等典型山地生境, 多生于海拔 250~2 000 m 的次生林缘带、道路边坡及半阴坡草本群落中^[3]。现已明确其根部富含特征性角型吡喃香豆素, 尤其以白花前胡甲素、乙素及 E 素为代表的呋喃吡喃香豆素类化合物含量较高, 该类成分评价白花前胡药材质量的核心指标^[4-7]。现代药理研究表明, 白花前胡具有钙通道阻滞、抗凝血、抗氧化、抗菌、抗炎、降血压、抗心律、平喘、抗癌等功效^[8-11]。

贵州是白花前胡的主要产地之一, 但目前有关黔产白花前胡根的化学成分和药理活性未见系统报道, 故本研究采用系统化分离流程与先进结构表征技术对贵州产白花前胡 90% 乙醇提取物进行分析, 并采用微量稀释法测定各化合物对青枯假单胞菌、枯草芽胞杆菌、根癌农杆菌、产气杆菌生长的抑制作用, 以期丰富黔产白花前胡的化学成分并揭示其在抗菌领域的应用潜力。

1 材料

Agilent 1200 高效液相色谱仪、ZORBAXSB-C₁₈ 半制备色谱柱 (250 mm×9.4 mm, 5 μm) (美国 Agilent 公司); Avance NEO 600 MHz 超导核磁共振

仪 (德国布鲁克公司); Hei-VAP Digital G3 旋转蒸发仪 (德国海道尔夫公司); QE Focus 串联四极杆飞行时间液质谱联用仪 (美国赛默飞世尔科技公司); ME204E/02 电子分析天平 (瑞士梅特勒-托利多公司); DLSB-5/20 低温冷却循环泵 (郑州长城科工贸有限公司)。柱色谱硅胶 (40~80、100~200、300~400 目)、GF254 薄层硅胶板 (青岛海洋化有限公司); 17-0090-02 凝胶 Sephadex LH-20 (瑞典 Amersham Biosciences 公司)。甲醇、乙腈 (色谱纯, 北京百灵威科技有限公司); 氘代氯仿、氘代甲醇、氘代二甲基亚砜 (上海安耐吉化学公司); 显色剂为 5% 硫酸/乙醇溶液; 其他试剂为分析纯 (上海泰坦科技股份有限公司); 水为超纯水。

白花前胡于 2022 年 7 月采集于贵州省毕节市赫章县平山镇, 由贵州省天然产物研究中心张妮副研究员鉴定为伞形科前胡属植物白花前胡 *Peucedanum praeruptorum* Dunn 的干燥根, 凭证标本 (编号 20220701) 保存于贵州省天然产物研究中心。供试菌种为青枯假单胞菌、枯草芽胞杆菌、根癌农杆菌、产气杆菌, 由贵州省天然产物研究中心陈超副研究员惠赠。

2 提取与分离

取黔产白花前胡干燥根 4.8 kg, 粉碎, 加入 15 L 90% 乙醇低温热回流提取 4 次, 每次 2 h, 减压浓缩得到浸膏 510 g。浸膏中加入 5 L 水混悬, 用 5 L 二氯甲烷萃取 3 次, 合并萃取液, 减压浓缩后得到二氯甲烷萃取部位 360.8 g。二氯甲烷部位硅胶拌样后通过硅胶柱分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (25:1~1:1)、二氯甲烷-甲醇 (5:1~0:1) 梯度洗脱, 减压浓缩并经薄层色谱 (TLC) 检视,

5% 硫酸/乙醇试液显色, 紫外灯下观察并合并相似组分, 得到 Fr. A~Fr. F。

Fr. C (20 g) 经硅胶柱分离, 以石油醚-丙酮 (100 : 1~5 : 1) 梯度洗脱, 得到 Fr. C1~Fr. C13, Fr. C2 经重结晶纯化, 得到化合物 **8** (2.9 mg); Fr. C3 经重结晶纯化, 得到化合物 **9** (10 mg)。

Fr. D (30 g) 经 C_{18} 反相柱分离, 以甲醇-水 (60 : 40~100 : 0) 梯度洗脱, 得到 Fr. D1~Fr. D6, Fr. D4 经硅胶柱分离, 以石油醚-乙酸乙酯 (50 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 析出大量无色透明油状物, 得到化合物 **14** (1.0 g)。

Fr. F (18 g) 经 C_{18} 反相柱色谱分离, 以甲醇-水 (50 : 50~100 : 0) 梯度洗脱, 得到 Fr. F1~Fr. F5。Fr. F2 经硅胶柱分离, 以石油醚-丙酮 (50 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 Fr. F2-1~Fr. F2-5, Fr. F2-4 经半制备 HPLC (流动相甲醇-水 80 : 20) 分离, 得到化合物 **7** ($t_R = 41.1$ min, 109.1 mg)。Fr. F4 经硅胶柱分离, 以石油醚-丙酮 (30 : 1~1 : 1) 梯度洗脱, 得到 Fr. F4-1~Fr. F4-10, Fr. F4-2 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 35 : 65) 分离, 得到化合物 **1** ($t_R = 25.5$ min, 11 mg); Fr. F4-3 析出无色油状液体, 得到化合物 **6** (10 mg); Fr. F4-4 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 40 : 60) 纯化, 得到化合物 **11** ($t_R = 27.8$ min, 8 mg); Fr. F4-5 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 28 : 72) 分离, 得到化合物 **3** ($t_R = 21.8$ min, 2 mg)、**2** ($t_R = 24.7$ min, 2.5 mg)、**12** ($t_R = 28.3$ min, 5.8 mg) 和 **13** ($t_R = 34.1$ min, 4 mg); Fr. F4-6 经 Sephadex LH-20 (流动相三氯甲烷-甲醇 1 : 1) 分离, 得到化合物 **5** (7 mg); Fr. F4-10 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 28 : 72) 分离, 得到化合物 **4** ($t_R = 15.7$ min, 20 mg)。Fr. F5 经硅胶柱分离, 以石油醚-丙酮 (30 : 1~1 : 1) 梯度洗脱; 得到 Fr. F5-1~Fr. F5-6, Fr. F5-4 经半制备 HPLC (流动相乙腈-水 40 : 60), 得到化合物 **10** ($t_R = 11.2$ min, 22.4 mg)。半制备 HPLC 的检测波长为 210、280 nm, 体积流量均为 2 mL/min。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 无色结晶, 熔点测定值为 186.0~188.0 °C, ESI-MS m/z : 327.1 $[M+Na]^+$, 分子式为 $C_{16}H_{16}O_6$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.60 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-4), 7.34 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-5), 6.79 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-6), 6.41 (1H, d, $J = 4.8$ Hz, H-4'), 6.23 (1H, d, $J = 9.6$

Hz, H-3), 3.99 (1H, d, $J = 4.8$ Hz, H-3'), 2.21 (3H, s, H-2''), 1.45 (3H, s, H-5'), 1.44 (3H, s, H-6'); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 172.1 (C-1''), 160.3 (C-2), 157.1 (C-7), 154.3 (C-9), 143.6 (C-4), 129.4 (C-5), 114.7 (C-6), 113.0 (C-3), 112.5 (C-10), 106.9 (C-8), 78.9 (C-2'), 71.1 (C-3'), 64.0 (C-4'), 25.2 (C-6'), 21.8 (C-5'), 21.1 (C-2'')。以上数据与文献 [12] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为前胡香豆素 C。

化合物 **2**: 白色粉末状, ESI-MS m/z : 247.3 $[M+H]^+$, 分子式为 $C_{14}H_{14}O_4$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.58 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-4), 7.18 (1H, s, H-5), 6.79 (1H, s, H-8), 6.23 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-3), 3.87 (1H, d, $J = 5.4$ Hz, H-3'), 3.11 (1H, dd, $J = 16.8, 4.8$ Hz, H-4'), 2.84 (1H, dd, $J = 16.8, 4.8$ Hz, H-4'), 1.39 (3H, s, CH_3), 1.36 (3H, s, CH_3); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 161.5 (C-2), 156.6 (C-7), 154.3 (C-9), 143.3 (C-4), 125.2 (C-4), 129.2 (C-5), 116.5 (C-6), 113.5 (C-3), 113.1 (C-10), 104.9 (C-8), 78.3 (C-2'), 69.3 (C-3'), 30.8 (C-4'), 25.2 (CH_3), 22.2 (CH_3)。以上数据与文献 [13] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为日本前胡醇。

化合物 **3**: 白色粉末状, ESI-MS m/z : 247.3 $[M+H]^+$, 分子式为 $C_{14}H_{14}O_4$ 。 1H -NMR (600 MHz, $CDCl_3$) δ : 7.59 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-4), 7.22 (1H, s, H-5), 6.74 (1H, s, H-8), 6.21 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-3), 4.74 (1H, t, $J = 8.4$ Hz, H-2'), 3.21 (2H, m, H-3'), 1.37 (3H, s, CH_3), 1.23 (3H, s, CH_3); ^{13}C -NMR (150 MHz, $CDCl_3$) δ : 163.3 (C-2), 161.6 (C-7), 155.8 (C-10), 143.9 (C-4), 125.2 (C-6), 123.6 (C-5), 112.9 (C-9), 112.5 (C-3), 98.1 (C-8), 91.2 (C-2'), 71.8 (C-4'), 29.6 (C-3'), 26.3 (C-6'), 24.4 (C-5')。以上数据与文献 [14] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 nodakenetin。

化合物 **4**: 白色粉末状, ESI-MS m/z : 261.1 $[M-H]^-$, 分子式为 $C_{14}H_{14}O_5$ 。 1H -NMR (600 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 7.86 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-4), 6.91 (1H, s, H-5), 6.16 (1H, d, $J = 9.6$ Hz, H-3), 4.63 (1H, t, $J = 8.4$ Hz, H-2'), 3.16 (2H, m, H-3'), 1.13 (6H, s, 4'- CH_3); ^{13}C -NMR (150 MHz, $DMSO-d_6$) δ : 160.7 (C-2), 151.7 (C-7),

145.4 (C-4), 144.0 (C-9), 129.1 (C-8), 125.4 (C-6), 113.7 (C-5), 113.1 (C-10), 111.0 (C-2), 90.7 (C-2'), 70.2 (C-4'), 29.7 (C-3'), 26.1 (4'-CH₃), 24.8 (4'-CH₃)。以上数据与文献 [15] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为芸香毒素。

化合物 5: 棕色粉末状, ESI-MS m/z : 223.2 [M+H]⁺, 分子式为 C₁₁H₁₀O₅。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 7.59 (1H, d, $J=9.6$ Hz, H-4), 6.65 (1H, s, H-6), 6.27 (1H, d, $J=9.6$ Hz, H-3), 4.08 (3H, s, 8-OCH₃), 3.93 (3H, s, 7-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 160.8 (C-2), 144.7 (C-7), 144.0 (C-4), 143.2 (C-6), 142.6 (C-8), 134.6 (C-9), 113.6 (C-10), 111.4 (C-3), 103.3 (C-5), 61.8 (8-OCH₃), 56.6 (7-OCH₃)。以上数据与文献 [16] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 6-羟基-7, 8-二甲氧基香豆素。

化合物 6: 无色透明的油状, ESI-MS m/z : 331.5 [M+H]⁺, 分子式为 C₁₉H₃₈O₄。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 4.15 (2H, qd, $J=11.4, 5.4$ Hz, H-1), 3.92 (1H, m, H-2), 3.68 (1H, dd, $J=11.4, 4.2$ Hz, H-3 α), 3.58 (1H, dd, $J=11.4, 6.0$ Hz, H-3 β), 2.34 (1H, t, $J=7.8$ Hz, H-2'), 1.61 (2H, t, $J=7.2$ Hz, H-3'), 1.24 (24H, brs, H-4~15'), 0.87 (3H, t, $J=7.2$ Hz, H-16'); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 174.5 (C-1'), 70.4 (C-2), 65.3 (C-1), 63.5 (C-3), 34.3 (C-2'), 32.1 (C-15'), 29.3~29.8 (C-4'~13'), 25.0 (C-3'), 22.8 (C-14'), 14.2 (C-16')。以上数据与文献 [17] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 1-hexadecanoyl propan-2, 3-diol。

化合物 7: 无色透明的油状, ESI-MS m/z : 261.4 [M+H]⁺, 分子式为 C₁₇H₂₄O₂。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ : 5.56 (1H, dd, $J=10.8, 1.2$ Hz, H-9), 5.47 (1H, m, H-10), 5.40 (2H, dt, $J=16.8, 1.2$ Hz, H-2), 5.19 (1H, dt, $J=10.2, 1.2$ Hz, H-8), 5.16 (1H, d, $J=8.4$ Hz, H-3), 4.88 (2H, d, $J=5.4$ Hz, H-1), 2.12 (2H, m, H-11), 1.34 (10H, m, H-12~16), 0.91 (3H, t, $J=7.2$ Hz, H-17); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 138.0 (C-2), 134.1 (C-9), 129.8 (C-10), 116.6 (C-1), 81.1 (C-7), 79.7 (C-4), 70.1 (C-6), 68.7 (C-5), 63.8 (C-3), 58.9 (C-8), 33.0 (C-12), 30.4 (C-14), 30.3 (C-13), 30.2 (C-15), 28.5 (C-11), 23.7 (C-16), 14.5 (C-17)。以上数据与

文献 [18] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 falcarindiol。

化合物 8: 白色粉末状, ESI-MS m/z : 513.8 [M+H]⁺, 分子式为 C₃₁H₆₀O₅。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 4.16 (4H, m, H-1, 3), 4.11 (4H, m, H-1, 3), 2.45 (1H, d, $J=4.8$ Hz, H-2), 2.35 (2H, t, $J=7.8$ Hz, H-2', 2''), 1.61 (2H, m, H-13', 13''), 0.88 (3H, t, $J=7.2$ Hz, H-14', 14''); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 174.1 (C-1', 1''), 68.5 (C-2), 65.2 (C-1, 3), 34.3 (C-2', 2''), 32.1 (C-3', 3''), 29.9 (C-4', 4''), 29.8 (C-5', 5''), 29.8 (C-6', 6''), 29.8 (C-7', 7''), 29.6 (C-8', 8''), 29.5 (C-9', 9''), 29.4 (C-10', 10''), 29.3 (C-11', 11''), 25.0 (C-12', 12''), 22.9 (C-13', 13''), 14.3 (C-14', 14'')。以上数据与文献 [19] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 1, 3-dimyristin。

化合物 9: 白色片状晶体, 熔点测定值为 140.0 °C, ESI-MS m/z : 437.7 [M+Na]⁺, 分子式为 C₂₉H₅₀O。使用 10% 硫酸/乙醇显色剂对该化合物进行显色反应, 呈现出紫红色。通过 TLC 实验, 将其与 β -谷甾醇对照品进行点板对比, 结果显示二者的比移值 (R_f 值) 完全相同, 且在相同显色条件下呈现一致的紫红色斑点, 故鉴定该化合物为 β -谷甾醇^[20]。

化合物 10: 无色方晶状, 熔点为 99.0 ~ 100.0 °C, ESI-MS m/z : 183.2 [M+H]⁺, 分子式为 C₁₀H₁₄O₃。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 7.13 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-5, 7), 6.81 (2H, d, $J=8.4$ Hz, H-4, 8), 4.34 (1H, dd, $J=8.4, 3.6$ Hz, H-1), 3.66 (1H, dd, $J=11.4, 8.4$ Hz, H-2a), 3.58 (1H, dd, $J=11.4, 3.6$ Hz, H-2b), 3.46 (1H, dq, $J=9.6, 7.2$ Hz, H-1'a), 3.36 (1H, dq, $J=9.6, 7.2$ Hz, H-1'b), 1.18 (3H, t, $J=7.2$ Hz, H-2'); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ : 156.2 (C-6), 130.3 (C-3), 128.3 (C-5, 7), 115.6 (C-4, 8), 82.2 (C-1), 67.3 (C-2), 64.3 (C-1'), 15.4 (C-2')。以上数据与文献 [21] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 angelicol A。

化合物 11: 白色针晶状, 熔点为 168.0 ~ 170.0 °C, ESI-MS m/z : 409.4 [M+Na]⁺, 分子式为 C₂₀H₁₈O₈。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ : 7.81 (1H, s, H-2), 6.75 (2H, s, H-2', 6'), 6.64 (1H, s, H-8), 6.08 (2H, s, 6, 7-OCH₂O), 4.08 (3H, s, 5-OCH₃), 3.88 (6H, s, 3', 5'-OCH₃),

3.86 (3H, s, 4'-OCH₃); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ: 175.4 (C-4), 154.8 (C-5), 153.2 (C-9), 153.1 (C-2), 150.9 (C-5', 3'), 141.8 (C-7), 138.1 (C-4'), 135.7 (C-6), 127.5 (C-1'), 125.8 (C-3), 113.9 (C-10), 106.7 (C-2', 6'), 102.4 (6, 7-OCH₂O), 93.4 (C-8), 61.4 (5-OCH₃), 61.0 (4'-OCH₃), 56.4 (3', 5'-OCH₃)。以上数据与文献 [22] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 irisflorelin。

化合物 12: 白色粉末状, ESI-MS *m/z*: 359.4 [M+H]⁺, 分子式为 C₂₀H₂₂O₆。¹H-NMR (600 MHz, CDCl₃) δ: 6.89 (4H, m, H-2, 2'), 6.82 (2H, dd, *J*=8.4, 1.8 Hz, H-6, 6'), 5.62 (2H, s, H-4, 4'), 4.74 (2H, d, *J*=4.8 Hz, H-7, 7'), 4.24 (2H, dd, *J*=9.0, 6.6 Hz, H-9, 9'), 3.90 (6H, s, OCH₃), 3.88 (2H, dd, *J*=9.6, 3.6 Hz, H-9, 9'), 3.11 (2H, m, H-8, 8'); ¹³C-NMR (150 MHz, CDCl₃) δ: 146.8 (C-3, 3'), 145.4 (C-4, 4'), 133.0 (C-1, 1'), 119.1 (C-6, 6'), 114.4 (C-5, 5'), 108.7 (C-2, 2'), 86.0 (C-7, 7'), 71.8 (C-9, 9'), 56.1 (OCH₃), 54.3 (C-8, 8')。以上数据与文献 [23] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 pinoresinol。

化合物 13: 白色粉末状, ESI-MS *m/z*: 373.4 [M+H]⁺, 分子式为 C₂₀H₂₀O₇。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 6.96 (1H, d, *J*=1.8 Hz, H-3'), 6.94 (1H, d, *J*=1.8 Hz, H-3), 6.84 (1H, m, H-5), 6.82 (1H, d, *J*=7.8 Hz, H-6'), 6.78 (1H, d, *J*=7.8 Hz, H-6), 5.38 (1H, t, *J*=3.6 Hz, H-7'), 5.22 (1H, d, *J*=3.6 Hz, H-7), 4.28 (1H, m, H-9'), 4.02 (1H, m, H-9'), 3.86 (1H, s, 2'-OCH₃), 3.85 (1H, s, 2-OCH₃), 3.66 (1H, m, H-8'), 3.35 (1H, s, H-8); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 179.7 (C-9), 149.3 (C-2'), 149.1 (C-2), 148.2 (C-1'), 147.4 (C-1), 133.2 (C-4'), 132.4 (C-4), 119.8 (C-5'), 119.5 (C-5), 116.4 (C-6'), 116.1 (C-6), 110.6 (C-3, 3'), 87.2 (C-7'), 85.1 (C-7), 73.8 (C-9'), 56.5 (2'-OCH₃), 56.4 (2-OCH₃), 54.4 (C-8'), 51.0 (C-8)。以上数据与文献 [24] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为 balanophonin B。

化合物 14: 无色透明的油状物质, ESI-MS *m/z*: 381.1 [M+Na]⁺, 分子式为 C₂₀H₂₂O₆。¹H-NMR (600 MHz, CD₃OD) δ: 7.70 (2H, dd, *J*=

5.4, 3.6 Hz, H-3, 6), 7.60 (2H, dd, *J*=5.4, 3.6 Hz, H-4, 5), 4.19 (4H, m, H-1', 1''), 1.66 (2H, q, *J*=6.6 Hz, H-2', 2''), 1.42 (4H, m, H-a', a''), 1.36 (4H, m, H-3', 3''), 1.32 (8H, m, H-4', 4'', 5', 5''), 0.91 (12H, m, H-6', 6'', b', b''); ¹³C-NMR (150 MHz, CD₃OD) δ: 169.3 (CO), 133.6 (C-4, 5), 132.4 (C-1, 2), 129.9 (C-3, 6), 69.1 (C-1', 1''), 40.2 (C-2', 2''), 31.6 (C-3', 3''), 30.1 (C-4', 4''), 24.9 (C-a', a''), 24.0 (C-5', 5''), 14.4 (C-6', 6''), 11.4 (C-b', b'')。以上数据与文献 [25] 报道基本一致, 故鉴定该化合物为邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯。

4 抗菌活性研究

准确称取化合物 1~14 适量, 使用 DMSO 配制成 20 mmol/L 的母液, 再使用 LB 液体培养基配制成不同浓度的待测液备用。阳性药氧氟沙星用 DMSO 配制成 5 μg/mL 的母液, 使用 LB 液体培养基配制成不同浓度的待测液备用。将复苏的 4 种菌株分别置于 LB 液体培养基中, 37 °C、150 r/min 培养 24 h, 然后将菌株接种在 LB 琼脂平板上, 在 37 °C 培养箱中培养 24 h。取单个菌落转接至 LB 液体培养基中, 37 °C、150 r/min 培养 24 h。采用肉汤二倍稀释法测定化合物的最低抑菌浓度^[26]。使用 LB 液体培养基稀释供试样品, 使得样品溶液最终浓度分别为 200、100、50、25、12.5、6.25、3.13、1.56 μmol/L, 设置氧氟沙星浓度梯度为 12.5、6.25、3.13、1.56、0.78、0.39、0.195、0.0975 μmol/L。使用 LB 液体培养基稀释菌液, 使其最终浓度为 1×10⁶ CFU/mL, 接种于 96 孔板, 每孔 100 μL, 再分别加入 100 μL 梯度稀释的样品溶液, 充分混合均匀, 37 °C 恒温孵育 24 h, 培养结束后, 通过肉眼观察各孔内溶液状态, 以溶液保持澄清透明且无沉淀为判定标准, 确定无菌生长的孔位。计算样品对相应菌株的最小抑菌浓度 (MIC), 每组独立实验重复 3 次, 结果见表 1, 可知化合物 7 对 4 种菌株均有较好的抑制作用。

5 讨论

本研究从贵州产白花前胡中鉴定出了 14 个化合物, 包括 5 个香豆素类、3 个木脂素类以及 6 个其他类, 丰富了该植物的化学成分信息, 为前胡属植物化学多样性研究提供了新数据, 有助于深入了解该属植物的化学成分特征和生物合成途径, 对植物化学分类学研究具有重要意义。抑菌活性研究发现, 化合物 7 展现出良好的抗菌活性, 这为黔产白

表 1 化合物 7 对 4 种菌株的抑制作用

Tab. 1 Inhibitory effects of compounds 7 on four strains

化合物	MIC/($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)			
	青枯假单胞菌	枯草芽胞杆菌	根瘤农杆菌	产气杆菌
7	25	6.25	12.5	12.5
氧氟沙星	3.125	6.25	3.125	1.5625

花前胡在抗菌领域的开发利用提供了潜在的活性成分，其对青枯假单胞菌等菌株的抑制作用在农业和医药领域均有应用前景，在农业上，可用于开发新型植物源杀菌剂，减少化学农药使用；在医药领域，为抗菌药物研发提供了天然先导化合物，后续可进一步优化其结构，提高抗菌活性和选择性。

参考文献:

[1] 陶弘景. 名医别录[M]. 尚志钧, 辑校. 北京: 人民卫生出版社, 1986: 122.

[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020年版一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 277.

[3] 中国科学院《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 147.

[4] Zhao Y C, Wang N N, Zeng Z X, et al. Cloning, functional characterization, and catalytic mechanism of a bergaptol O-methyltransferase from *Peucedanum praeruptorum* Dunn[J]. *Front Plant Sci*, 2016, 7: 722.

[5] Zhao Y C, Luo J, Xu S, et al. Selection of reference genes for gene expression normalization in *Peucedanum praeruptorum* Dunn under abiotic stresses, hormone treatments and different tissues[J]. *PLoS One*, 2017, 11(3): e0152356.

[6] 汪 康, 聂竹霞, 孙云鹏, 等. 白花前胡化学成分研究[J]. *安徽中医药大学学报*, 2018, 37(5): 83-85.

[7] 薛俊超. 白花前胡化学成分及相关药理作用的研究进展[J]. *海峡药学*, 2012, 24(2): 34-38.

[8] Xu R H, Deng H M, Gan L F, et al. Chinese herbal component, praeruptorin E, enhances anti-asthma efficacy and prevents toxicity of aminophylline by targeting the NF- κ B/PXR/CYP3A4 pathway[J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10(4): 225.

[9] Barot K P, Jain S V, Kremer L, et al. Recent advances and therapeutic journey of coumarins: current status and perspectives[J]. *Med Chem Res*, 2015, 24(7): 2771-2798.

[10] Kaewpiboon C, Surapinit S, Malilas W P, et al. Feroniellin A-induced autophagy causes apoptosis in multidrug-resistant human A549 lung cancer cells[J]. *Int J Oncol*, 2014, 44(4): 1233-1242.

[11] Lin K Q, Liu H F, Chen C, et al. Structurally diverse coumarins from *Peucedanum praeruptorum* and their anti-inflammatory activities via NF- κ B signaling pathway[J]. *Chem Biodivers*, 2024, 21(3): e202400184.

[12] 刘定平, 涂林锋, 陈芳有, 等. 信前胡中香豆素类成分的分 离鉴定[J]. *中药材*, 2020, 43(10): 2424-2429.

[13] Kim H J, Kim H M, Ryu B, et al. Constituents of PG201 (Layla[®]), a multi-component phytopharmaceutical, with inhibitory activity on LPS-induced nitric oxide and prostaglandin E2 productions in macrophages[J]. *Arch Pharm Res*, 2016, 39(2): 231-239.

[14] 游 梦, 陈 林, 王 琦, 等. 万寿竹化学成分分离与鉴定(III)[J]. *中草药*, 2020, 51(7): 1814-1818.

[15] 涂林锋, 肖春荣, 张睿增, 等. 信前胡化学成分的研究[J]. *中成药*, 2020, 42(1): 116-119.

[16] 王冬雨, 张 妮, 姜华勇, 等. 黔产草珊瑚中 1 个新的木脂素化合物及其抗神经炎活性[J]. *中草药*, 2024, 55(22): 7575-7582.

[17] Misra L, Siddiqi S A. n-Alkanes and α -palmitin from *Paspalum scrobiculatum* seeds[J]. *Z Naturforsch C*, 2015, 55(7-8): 500-502.

[18] Meot-Duros L, Cérantola S, Talarmin H, et al. New antibacterial and cytotoxic activities of falcariindiol isolated in *Critihum maritimum* L. leaf extract[J]. *Food Chem Toxicol*, 2009, 48(2): 553-557.

[19] 韦建华, 李亚楠, 莫惠雯, 等. 壮药龙脷叶化学成分的研究(I)[J]. *时珍国医国药*, 2017, 28(2): 289-291.

[20] 王 诚, 王艳萍, 熊 毅, 等. 人参果化学成分及其抗氧化活性[J]. *中成药*, 2023, 45(12): 3972-3979.

[21] Shu P H, Li J P, Fei Y Y, et al. Isolation, structure elucidation, tyrosinase inhibitory, and antioxidant evaluation of the constituents from *Angelica dahurica* roots[J]. *J Nat Med*, 2020, 74(2): 456-462.

[22] 李 蓉, 秦民坚. 黄叶鸢尾的化学成分研究[J]. *中国药科大学学报*, 2003, 34(2): 122-124.

[23] Páska C, Innocenti G, Ferlin M, et al. Pinoresinol from *Ipomoea cairica* cell cultures[J]. *Nat Prod Lett*, 2002, 16(5): 359-363.

[24] Ma G X, Wu H F, Yuan J Q, et al. Phenylpropanoid constituents from the seeds of *Lithocarpus pachylepis*[J]. *Phytochem Lett*, 2013, 6(1): 152-155.

[25] 高程海, 易湘茜, 林 琳, 等. 海洋来源邻苯二甲酸酯类化学成分和构效关系研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2013, 25(10): 1320-1324.

[26] 陈阳密, 安 艳, 董向涛, 等. 含氨基噻唑结构的磷酸酯衍生物的合成与抗菌活性研究[J]. *药学报*, 2024, 59(1): 161-165.