

黄瑞香干燥根皮茎皮中 1 对新的香豆素对映异构体及其乙酰胆碱酯酶抑制活性

娄丽丽, 李 颖, 王 清, 辛本松, 宋少江*

沈阳药科大学中药学院, 辽宁 沈阳 110016

摘 要: 目的 研究黄瑞香 *Daphne giraldii* 干燥根皮、茎皮的化学成分。方法 采用硅胶柱色谱、大孔吸附树脂、高效液相色谱等技术对黄瑞香干燥根皮、茎皮进行系统分离, 综合应用理化常数、波谱光谱数据, 鉴定了化合物的结构。采用改进的 Ellman's 法测试了所有化合物的乙酰胆碱酯酶抑制活性。结果 从黄瑞香干燥根皮、茎皮的 70% 的乙醇提取物中分离获得 8 个化合物, 包括 6 个香豆素及 2 个二芳基丙烷类化合物, 分别鉴定为 (6*R*,7*S*)-6,7,10-trihydroxy-8,8-dimethyl-7,8-dihydro-2*H*,6*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (**1a**)、(6*S*,7*R*)-6,7,10-trihydroxy-8,8-dimethyl-7,8-dihydro-2*H*,6*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (**1b**)、10-hydroxy-8,8-dimethyl-2*H*,8*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (**2**)、花椒毒酚 (**3**)、紫花前胡苷元 (**4**)、8-methoxymarmesin (**5**)、1-(2'-hydroxy-4'-methoxyphenyl)-3-(4''-hydroxyphenyl)propane (**6**)、3-去氧苏木查耳酮 (**7**)。结论 化合物 **1a**/**1b** 为新化合物, 分别命名为黄瑞香素 A 和黄瑞香素 B。化合物 **1b** 具有显著的乙酰胆碱酯酶抑制活性, 与阳性药多奈哌齐活性相当。

关键词: 黄瑞香; 瑞香属; 香豆素; 对映异构体; 乙酰胆碱酯酶; 黄瑞香素 A; 黄瑞香素 B; 花椒毒酚; 紫花前胡苷元

中图分类号: R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2670(2025)08 - 2759 - 05

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.08.012

A pair of new coumarin enantiomers from dried root and stem bark of *Daphne giraldii* and their acetylcholinesterase inhibitory activity

LOU Lili, LI Ying, WANG Qing, XIN Bensong, SONG Shaojiang

Key Laboratory of Computational Chemistry-Based Natural Antitumor Drug Research & Development, Shenyang 110016, China

Abstract: Objective Chemical constituents of dried root bark and stem bark of *Daphne giraldii*. **Methods** Systematic isolation was performed using silica gel column chromatography, macroporous adsorption resin, and high-performance liquid chromatography (HPLC). The structures of the compounds were elucidated by physicochemical constants and spectroscopic data (UV, IR, MS, NMR). Acetylcholinesterase inhibitory activity of all compounds was evaluated using a modified Ellman's assay. **Results** Eight compounds were isolated from the 70% ethanol extract of *D. giraldii* root and stem bark, including six coumarins and two diarylpropanes. These compounds were identified as (6*R*,7*S*)-6,7,10-trihydroxy-8,8-dimethyl-7,8-dihydro-2*H*,6*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (**1a**), (6*S*,7*R*)-6,7,10-trihydroxy-8,8-dimethyl-7,8-dihydro-2*H*,6*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (**1b**), 10-hydroxy-8,8-dimethyl-2*H*,8*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (**2**), xanthotoxol (**3**), decursinol (**4**), 8-methoxymarmesin (**5**), 1-(2'-hydroxy-4'-methoxyphenyl)-3-(4''-hydroxyphenyl)propane (**6**), and 3-deoxysappanchalcone (**7**). **Conclusion** Compounds **1a** and **1b** are novel structures named daphnetin A and daphnetin B. Compound **1b** exhibited significant acetylcholinesterase inhibitory activity, comparable to that of the positive control donepezil.

Key words: *Daphne giraldii* Nitsche; *Daphne* L.; coumarin; enantiomer; acetylcholinesterase; daphnetin A; daphnetin B; xanthotoxol; decursinol

黄瑞香 *Daphne giraldii* Nitsche 为瑞香科 (Thymelaeaceae) 瑞香属 *Daphne* L. 植物, 主要产

于黑龙江、辽宁、陕西、甘肃、青海、新疆、四川等省区, 生于海拔 1 600~2 600 m 的山地林缘或疏

收稿日期: 2025-02-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81872766)

作者简介: 娄丽丽, 博士, 实验师, 研究方向为中药药效物质的导向分离和作用机制研究。E-mail: lou_li_li@163.com

*通信作者: 宋少江, 博士, 教授, 研究方向为天然药物有效成分的新药研究与开发。E-mail: songsj99@163.com

林中^[1]。该植物和本属的唐古特瑞香及凹叶瑞香的茎皮和根皮入药称“祖师麻”，具有镇痛、抗炎、活血、消肿等功能，已被制成外用膏药、片剂或注射液收入药典，用于治疗风湿痹痛、关节炎、类风湿性关节炎^[2]。我国卫生部颁布的国家重要保护品种中“祖师麻片^[3]”“黄瑞香注射液^[4]”等都是以黄瑞香作为主要原料^[5]。

近年来，已从黄瑞香中分离得到香豆素类、黄酮类、二芳基丙烷类等多种活性成分^[6-11]，现代药理研究表明黄瑞香提取物具有抗炎镇痛、抗肿瘤、抗疟等作用^[12-18]。黄瑞香其丰富的化学成分和多样的生物活性使其在现代医药领域展现出潜力。为了进一步丰富黄瑞香植物中所含化学成分以及其活性机制，因此本实验对其根皮、茎皮化学成分进行进一步的研究。利用大孔树脂、硅胶、和制备液相色谱等多种分离纯化技术，结合理化性质和波谱、光

谱数据 (UV、NMR、MS、CD、旋光)，从黄瑞香中分离得到 8 个化合物 (1a/1b~7)，结构见图 1。包括 6 个香豆素及 2 个二芳基丙烷类化合物，分别鉴定为 (6*R*,7*S*)-6,7,10-trihydroxy-8,8-dimethyl-7,8-dihydro-2*H*,6*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (1a)、(6*S*,7*R*)-6,7,10-trihydroxy-8,8-dimethyl-7,8-dihydro-2*H*,6*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (1b)、10-hydroxy-8,8-dimethyl-2*H*,8*H*-pyrano[3,2-*g*]chromen-2-one (2)、花椒毒酚 (xanthotoxin, 3)、紫花前胡苷元 (decursinol, 4)、8-methoxymarmesin (5)、1-(2'-hydroxy-4'-methoxyphenyl)-3-(4''-hydroxyphenyl) propane (6)、3-去氧苏木查耳酮 (3-deoxysappanchalcone, 7)。其中 1a/1b 为新化合物，分别命名为黄瑞香素 A 和黄瑞香素 B。活性测试结果表明，化合物 1b 具有显著的乙酰胆碱酯酶抑制活性，与阳性药多奈哌齐活性相当。

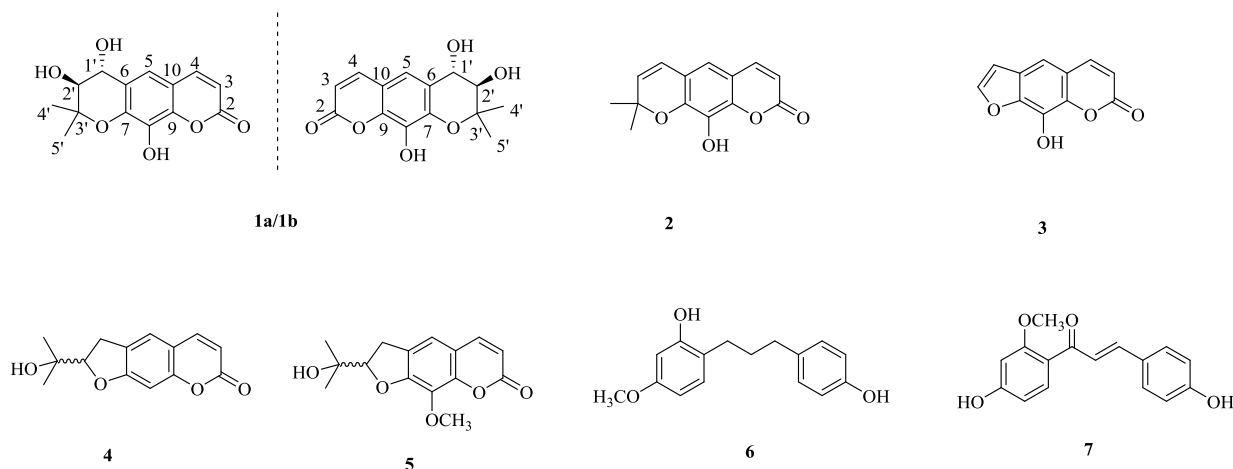


图 1 化合物 1a/1b~7 的结构

Fig. 1 Chemical structures of compounds 1a/1b—7

1 仪器与材料

核磁共振波谱仪 (Bruker AV-600 NMR spectrometers, TMS 作内标); HRESI-MS 质谱 (Bruker Micro Q-TOF mass spectrometer); CD 光谱仪 (Bio-Logic Science MOS-450), 紫外光谱仪 (Shimadzu UV-2600); 旋光测定仪 (Anton Paar MCP 200 polarimeter); 高效液相色谱仪 (Shimadzu L6AD 泵; SPD-20A UV/VIS 检测器); 制备色谱柱 (YMC ODS-A, 250 mm×10 mm, 5 μm); 分析色谱柱 (Dikma Diamonsil C₁₈, 250 mm×4.6 mm, 5 μm); 手性分析色谱柱 (Daicel Chiralpak AD-H, 250 mm×4.6 mm, 5 μm)。

柱色谱硅胶 (100~200、200~300 目, 青岛海洋化工厂); ODS 柱色谱填料 (60~80 μm, 德国

Merck 公司); HP20 树脂 (CHP20P, 0.3~0.7 mm, 日本三菱化学株式会社); HPLC、CD、UV 用试剂均为色谱纯级; 乙酰胆碱酯酶 (来源于电鳗鱼, 山东); Varioskan Flash 多功能酶标仪 (Thermo, 美国); 6 孔、24 孔、96 孔培养板 (Nest Biotech, USA); 移液器 (Genex Beta, Bio-DL, 美国)。其余试剂均为国产分析纯其余用试剂均为分析纯级。多奈哌齐 (Sigma 公司, 批号 100650-201703)。

黄瑞香的干燥根皮、茎皮于 2019 年 10 月采集于甘肃省, 由沈阳药科大学中药学院路金才教授鉴定为黄瑞香 *D. giraldii* Nitsche 的根皮和茎皮。凭证标本 (Dg-20191022) 已存放在实验室的植物标本馆。

2 方法

2.1 提取与分离

使用 70% 工业乙醇将 100 kg 黄瑞香干燥根皮、茎皮加热回流提取 3 次，每次 2 h，减压浓缩得浸膏 10.7 kg。萃取正丁醇层和醋酸乙酯层，通过减压硅胶柱色谱快速将其粗分成 5 个流分 (Fr. 1~5)，对 Fr. 5 进行系统分离，经正相硅胶柱色谱，以二氯甲烷-甲醇溶剂系统梯度洗脱，经 TLC 检测合并相似流分，得 Fr. 1~60，其中 Fr. 12~30 经 HPLC 制备得化合物 **1** (6 mg)，使用 Daicel chiralpak A-H 手性色谱柱进行进一步的分离，结果得到 1 对对映异构体 **1a** 和 **1b**，Fr. 31~40 经 HPLC 制备得化合物 **2** (11 mg) 和 **3** (6 mg)，Fr. 41~53 经 Sephadex LH-20 凝胶柱色谱用二氯甲烷-甲醇 (1:1) 洗脱，收集第 13~20 份和 25~40 份，后经 HPLC 制备得化合物 **4** (5 mg)、**5** (6 mg)、**6** (12 mg)、**7** (8 mg)。

2.2 活性测试

乙酰胆碱酯酶抑制活性采用改进的 Ellman's 法，用碘化乙酰硫代胆碱 (acetylthiocholine iodide, ATCI) 和 5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸) [5,5'-dithiobis-(2-nitrobenzoic acid), DTNB] 测定化合物。以多奈哌齐为阳性对照，同时设置空白组。反应体系中含有 50 μ L 磷酸盐缓冲液 (0.1 mol/L; pH 7.4)、25 μ L 待测化合物 (100、40、20、10、1 μ mol/L)、12.5 μ L 乙酰胆碱酯酶 (0.1 U/mL) 和 125 μ L DTNB (0.06 mg/mL)。按顺序添加完将 96 孔板用锡箔纸包裹放冰箱避光低温孵育 6 h 以上，之后取出加入 50 μ L ATCI (0.15 mg/mL)，用酶标仪在 412 nm 处立即测定 1 次吸光度，之后每隔 5 min 测 1 次，测到第 15 分钟或第 20 分钟。按照公式计算抑制率，使 Graph-Pad Prism 程序通过响应-浓度(log)曲线的非线性回归分析计算半数抑制浓度 (median inhibition concentration, IC₅₀) 值。

3 结果

3.1 结构鉴定

化合物 **1**：无色油状物，HRESIMS 给出准分子离子峰 292.2567 [M+H]⁺ (calcd for C₁₄H₁₅O₆, 292.2573)，结合 ¹H-、¹³C-NMR 数据确定分子式为 C₁₄H₁₄O₆，不饱和度为 8。¹H-NMR (600 MHz, DMSO-*d*₆) 谱中， δ_{H} 7.95 (1H, d, *J* = 9.5 Hz, H-4), 6.22 (1H, d, *J* = 9.5 Hz, H-3) 提示为香豆素 3、4 位的特征峰信号， δ_{H} 7.20 (1H, s) 提示为苯环上的氢信号， δ_{H} 4.38 (1H, d, *J* = 8.2 Hz), 3.40 (1H, d, *J* = 8.2 Hz) 为 2 个连氧次甲基

质子信号， δ_{H} 1.43 (3H, s), 1.15 (3H, s) 为 2 组甲基质子信号。¹³C-NMR (150 MHz, DMSO-*d*₆) 谱共给出 14 个碳信号，包括 8 个芳香碳信号、1 个酯基碳信号、2 个连氧次甲基碳信号、1 个连氧叔碳信号和 2 个甲基碳信号，接着根据 HSQC 谱对该化合物进行了碳氢直接相关归属 (表 1)。

在 HMBC 谱 (图 2) 中，H-4 与 C-2、C-3、C-9 和 C-10 存在相关，H-5 与 C-1'，C-4 和 C-7 存在说明该化合物属于典型的香豆素类化合物。此外，在 HMBC 谱中，H-1' 与 C-5，C-8 相关说明吡喃环连接在 C-6、C-7 位，H-2' 与 C-4'、C-5' 存在相关，进一步证实了 3' 位存在偕二甲基。综上所述，确定了化合物 **1** 的平面结构 (图 1)。

表 1 化合物 **1** 的 ¹H 和 ¹³C-NMR 数据 (600/150 MHz, DMSO-*d*₆)

Table 1 ¹H and ¹³C-NMR data for compound **1** (600/150 MHz, DMSO-*d*₆)

碳位	δ_{H}	δ_{C}
2	—	160.7 (C)
3	6.22 (d, <i>J</i> = 9.5 Hz)	113.0 (CH)
4	7.95 (d, <i>J</i> = 9.5 Hz)	145.5 (CH)
5	7.20 (s)	132.7 (CH)
6	—	123.5 (C)
7	—	144.8 (C)
8	—	112.6 (C)
9	—	142.3 (C)
10	—	117.6 (C)
1'	4.38 (d, <i>J</i> = 8.2 Hz)	68.0 (CH)
2'	3.40 (d, <i>J</i> = 8.2 Hz)	80.4 (CH)
3'	—	74.8 (C)
4'	1.43 (s)	20.0 (CH ₃)
5'	1.43 (s)	27.0 (CH ₃)

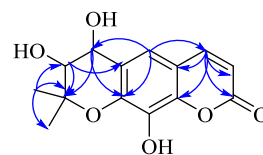


图 2 化合物 **1** 的关键 HMBC 相关

Fig. 2 Key HMBC correlation of compound **1**

化合物 **1** 的相对构型是由 1',2' 位的偶合常数确定的，H-1',2' 的偶合常数 (*J*_{1',2'} = 8.2 Hz) 较大，表明 H-1' 与 H-2' 为反式构型。化合物的比旋光度接近于零且 ECD 上无明显 Cotton 效应，推测其为外消旋混合物。使用 Daicel chiralpak A-H 手性色谱柱进行进一步的分离，结果得到 1 对对映异构体 **1a** 和 **1b** (图 3)，实验测得比旋光度分别为 273.89

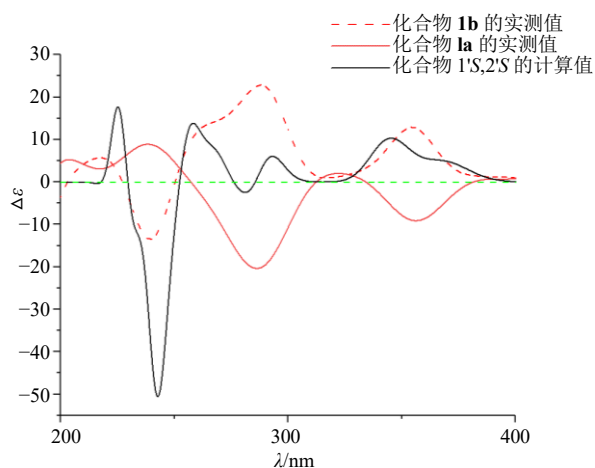


图 3 化合物 1a 和 1b 的实测 ECD 与 1a 的计算 ECD

Fig. 3 Experimental ECD spectra of 1a and 1b and calculated ECD spectra of 1'S,2'S

和-336.43。通过实测 ECD 光谱与计算 ECD 光谱对比确定他们的绝对构型,如图 3 所示,化合物 1a 与构型为 1'S,2'S 的计算 ECD 曲线拟合度较好,从而确定 1a 和 1b 的绝对构型分别为 1'S,2'S 和 1'R,2'R。经 Scifinder 检索,为未见文献报道的新化合物,分别命名为黄瑞香素 A 和黄瑞香素 B。

化合物 2: 白色粉末, $C_{14}H_{12}O_4$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.89 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-4), 6.25 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-3), 6.44 (1H, d, $J = 9.8$ Hz, H-1'), 5.83 (1H, d, $J = 9.8$ Hz, H-2'), 1.42 (6H, s, 4', 5'-CH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 160.5 (C-2), 145.3 (C-4), 144.3 (C-7), 143.9 (C-9), 133.2 (C-5), 131.8 (C-6), 121.5 (C-10), 118.5 (C-3), 115.6 (C-8), 113.2 (C-2'), 112.9 (C-3'), 77.6 (C-1'), 28.1 (-CH₃×2)。以上数据与文献报道对照基本一致^[19], 故鉴定化合物 2 为 10-hydroxy-8,8-dimethyl-2H,8H-pyrano[3,2-g] chromen-2-one。

化合物 3: 白色粉末, $C_{11}H_6O_4$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 8.11 (1H, d, $J = 9.5$ Hz, H-4), 6.39 (1H, d, $J = 9.5$ Hz, H-3), 8.05 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-8), 7.02 (1H, d, $J = 2.2$ Hz, H-10), 7.40 (1H, s, H-5); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 160.2 (C-2), 147.3 (C-9), 145.6 (C-4), 145.6 (C-7), 139.8 (C-8a), 130.8 (C-8), 125.2 (C-6), 116.2 (C-4a), 113.7 (C-3), 109.6 (C-5), 107.0 (C-10)。以上数据与文献报道对照基本一致^[20], 故鉴定化合物 3 为花椒毒酚。

化合物 4: 无色油状物, $[\alpha]_D^{20} + 0.1$ (c 0.1, MeOH), $C_{14}H_{14}O_4$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.93 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-4), 7.47 (1H, s, H-5), 6.79

(1H, s, H-8), 6.22 (1H, d, $J = 9.5$ Hz, H-3), 4.71 (2H, t, $J = 8.5$ Hz, H-2'), 3.18 (2H, m, H-3'), 1.15 (6H, s, 2×-CH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 163.7 (C-2), 160.9 (C-7), 155.5 (C-10), 145.1 (C-4), 125.9 (C-6), 124.3 (C-5), 112.5 (C-9), 111.6 (C-3), 97.2 (C-8), 91.4 (C-2'), 70.4 (C-4'), 29.1 (C-3'), 26.3 (C-6'), 25.3 (C-5')。以上数据与文献报道对照基本一致^[21], 故鉴定化合物 4 为紫花前胡昔元。

化合物 5: 白色粉末, $[\alpha]_D^{20} + 0.2$ (c 0.1, MeOH), $C_{15}H_{16}O_5$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.91 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-4), 7.19 (1H, s, H-5), 6.22 (1H, d, $J = 9.4$ Hz, H-3), 4.74 (2H, t, $J = 8.7$ Hz, H-2'), 3.20 (2H, m, H-3'), 1.16 (6H, s, 2×-CH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 160.1 (C-2), 154.0 (C-7), 146.5 (C-10), 144.9 (C-4), 130.2 (C-6), 126.5 (C-5), 117.7 (C-9), 113.0 (C-3), 111.4 (C-8), 91.3 (C-2'), 70.1 (C-4'), 60.2 (-OCH₃), 29.1 (C-3'), 25.8 (C-6'), 24.8 (C-5')。以上数据与文献报道对照基本一致^[22], 除多了 1 个甲氧基的碳信号, 可得出该化合物在 8 位被甲氧基取代, 故鉴定化合物 5 为 8-methoxymarmesin。

化合物 6: 无色油状物, $C_{16}H_{18}O_3$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 6.91 (1H, d, $J = 8.2$ Hz, H-6'), 6.37 (1H, d, $J = 2.5$ Hz, H-3'), 6.29 (1H, dd, $J = 8.2, 2.5$ Hz, H-5'), 3.65 (3H, s, -OCH₃), 2.45 (2H, t, $J = 8.1$ Hz, H-1); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 158.2 (C-4'), 155.8 (C-2'), 155.2 (C-4''), 132.2 (C-1''), 129.9 (C-6'), 129.0 (C-2'', 6''), 120.5 (C-1'), 115.0 (C-3'', 5''), 103.8 (C-5'), 101.2 (C-3'), 54.7 (-OCH₃), 34.2 (C-3), 31.7 (C-2), 28.7 (C-1)。以上数据与文献报道对照基本一致^[23], 故鉴定化合物 6 为 1-(2'-hydroxy-4'-methoxyphenyl)-3-(4''-hydroxyphenyl) propane。

化合物 7: 无色油状物, $C_{16}H_{14}O_4$ 。 1H -NMR (600 MHz, DMSO- d_6) δ : 7.65 (1H, d, $J = 15.7$ Hz, H- α), 7.40 (1H, d, $J = 15.7$ Hz, H- β), 7.57 (1H, d, $J = 8.5$ Hz, H-5'), 6.45 (1H, dd, $J = 8.5, 2.0$ Hz, H-5'), 6.50 (1H, d, $J = 2.0$ Hz, H-3'), 7.49 (2H, d, $J = 8.7$ Hz, H-2, 6), 6.82 (2H, d, $J = 8.7$ Hz, H-3, 5), 3.83 (3H, s, -OCH₃); ^{13}C -NMR (150 MHz, DMSO- d_6) δ : 188.8 (C=O), 162.7 (C-2'), 160.4 (C-4'), 159.7 (C-4), 141.3 (C- β), 132.2 (C-6'), 130.2 (C-2, 6), 125.9 (C-1), 123.9 (C- α), 120.2 (C-1'), 115.9 (C-3, 5), 107.9 (C-5'), 99.2 (C-3'), 55.6 (-OCH₃)。以上数据与文献报道对照基本一致^[24], 故鉴定化合物 7 为 3-去氧苏木查耳酮。

3.2 乙酰胆碱酯酶抑制活性

本实验对分得化合物的乙酰胆碱酯酶抑制活性进行测试,使用多奈哌齐作为阳性对照。结果显示(表 2),化合物 **1** 对乙酰胆碱酯酶具有一定活性,其中 **1a** 的 IC_{50} 为 $5.32\ \mu\text{mol/L}$, **1b** 的 IC_{50} 为 $0.53\ \mu\text{mol/L}$ 。而阳性药多奈哌齐的 IC_{50} 值为 $0.20\ \mu\text{mol/L}$ 。对活性结果进行分析,发现该对映异构体在活性方面具有明显差别,且 **1b** 的活性较好,与阳性药多奈哌齐相当。

表 2 化合物 **1a/1b**~7 的乙酰胆碱酯酶抑制作用

Table 2 Inhibitory activities of AChE by compounds **1a/1b**~7

化合物	$IC_{50}/(\mu\text{mol L}^{-1})$
1a	5.32 ± 0.01
1b	0.53 ± 0.01
2	47.18 ± 0.03
3	>50
4	20.14 ± 0.23
5	>50
6	34.15 ± 0.02
7	23.10 ± 0.03
多奈哌齐	0.20 ± 0.01

4 讨论

从黄瑞香干燥根皮、茎皮的 70% 的乙醇提取物中分离获得 8 个化合物 (**1a/1b**~7), 包括 6 个香豆素及 2 个二芳基丙烷类化合物, 其中 **1a/1b** 为新化合物。结合理化常数、波谱光谱数据鉴定了全部化合物的结构。对所有化合物进行乙酰胆碱酯酶抑制活性的测试, 其中化合物 **1b** 具有显著的酶抑制活性, 与阳性药活性相当。此研究丰富了黄瑞香的化学成分研究, 为进一步研究黄瑞香开展药效物质基础提供了理论基础。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 赵洁, 晋小军, 张红军. 黄瑞香研究进展 [J]. 中国野生植物资源, 2012, 31(6): 12-14.
- [2] 孙倩. 黄瑞香和猪屎豆的化学成分及生物活性研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2017.
- [3] Zheng B L, Yu J W, Zhang X J, *et al.* Therapeutic effect of Zu shi ma Tablets for undifferentiated spina osteoarthritis: An observation of 50 cases [J]. *J New Chin Med*, 2010, 42(8): 48-49.
- [4] 周颖, 庞兴寿. 祖师麻注射液指纹图谱的建立及质量相关性研究 [J]. 中国药事, 2010, 24(3): 289-292.
- [5] 苏娟. 黄瑞香活性成分的研究 [D]. 上海: 第二军医大学, 2007.
- [6] 王明时, 于明, 张元君, 等. 祖师麻化学成分的研究 [J]. 中草药 1976, 7(10): 13.

- [7] 李书慧. 祖师麻化学成分及其原植物黄瑞香细胞培养的研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2005.
- [8] 李平, 王立波. 祖师麻化学成分研究 [J]. 中国药物化学杂志, 2010, 20(1): 50-52.
- [9] 扈晓佳. 四种药用植物的化学成分及活性研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
- [10] 张薇, 苏娟, 扈晓佳, 等. 中药祖师麻的三种基源植物的化学及药理活性 [J]. 中国医药工业杂志, 2007, 38(3): 233-238.
- [11] 王鹏. 黄瑞香叶化学成分及生物活性研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [12] 王宇华, 许惠琴, 狄留庆, 等. 祖师麻提取物的镇痛与抗炎作用研究 [J]. 中草药, 2007, 38(11): 1697-1700.
- [13] 陈乐天, 静芸芸, 狄留庆, 等. 祖师麻抗类风湿性关节炎有效部位的药效学研究 [J]. 现代中药研究与实践, 2011, 25(2): 37-40.
- [14] Gao Q, Shan J J, Di L Q, *et al.* Therapeutic effects of daphnetin on adjuvant-induced arthritic rats [J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 120(2): 259-263.
- [15] 冯松, 张小东, 覃亚亚, 等. 基于网络药理学分析瑞香素抗多种肿瘤的作用机制及体外实验验证 [J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(1): 144-152.
- [16] Wang L B, Dong N W, Wu Z H, *et al.* Two new compounds with cytotoxic activity on the human melanoma A375-S2 cells from *Daphne giraldii* callus cells [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2012, 14(11): 1020-1026.
- [17] Yuan F, Chen J, Xu G M, *et al.* Anti-inflammatory mechanism of total glycosides of *Acanthopanax Giraldii* [J]. *Chin J Integr Med*, 2009, 15(3): 210-215.
- [18] Fylaktakidou K C, Hadjipavlou-Litina D J, Litinas K E, *et al.* Natural and synthetic coumarin derivatives with anti-inflammatory/antioxidant activities [J]. *Curr Pharm Des*, 2004, 10(30): 3813-3833.
- [19] Sukieum S, Sang-Aroon W, Yenjai C. Coumarins and alkaloids from the roots of *Toddalia asiatica* [J]. *Nat Prod Res*, 2018, 32(8): 944-952.
- [20] Xin X L, Wang Y, Wang G, *et al.* Biotransformation of furanocoumarins by fungi: Preparation of imperation analogs [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2018, 20(7): 697-707.
- [21] 游梦, 陈林, 王琦, 等. 万寿竹化学成分的分离与鉴定 (III) [J]. 中草药, 2020, 51(7): 1814-1818.
- [22] Luz R F, Vieira I J C, Braz-Filho R, *et al.* ^{13}C -NMR data from coumarins from Moraceae family [J]. *Am J Anal Chem*, 2015, 6(11): 851-866.
- [23] de Almeida P A, Fraiz S V Jr, Braz-Filho R. Synthesis and structural confirmation of natural 1,3-diarylpropanes [J]. *J Braz Chem Soc*, 1999, 10(5): 347-353.
- [24] Lv D, Lai Q, Zhang Q, *et al.* 3-Deoxysappanchalcone isolated from *Caesalpinia sinensis* shows anticancer effects on HeLa and PC3 cell lines: Invasion, migration, cell cycle arrest, and signaling pathway [J]. *Heliyon*, 2022, 8(10): e11013.

[责任编辑 王文倩]