

# 黄毛榕中具有 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性化合物的研究

代德财\*, 张笑笑, 徐晓娟,

李子昂, 董凌嫣, 陈青霞, 张蕊

海南科技职业大学 化学与材料工程学院, 海口 571126

**摘要:** 为研究黄毛榕叶中具有降糖活性的成分, 综合运用硅胶柱色谱、ODS 柱色谱、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱以及半制备高效液相色谱法从黄毛榕 95% 的乙醇提取物中共分离得到 9 个化合物, 并通过 NMR、HR-ESI-MS 等技术鉴定了化合物的结构, 分别为 *N*-阿魏烷基-*L*-脯氨酸甲酯(1)、*N*-反式-对香豆酰酪胺(2)、3',4',5'-三甲氧基肉桂醇(3)、3',4',5'-三甲氧基肉桂醇-1- $\beta$ -*D*-葡萄糖苷(4)、(-)-dendrolactone(5)、3-羟基-1-(4-羟基-3,5-二甲氧基苯基)-1-丙酮(6)、反式阿魏酸(7)、4'-羟基-3',5'-二甲氧基肉桂醇(8)和对羟基反式肉桂酸(9), 化合物 1 为新化合物, 化合物 2~6 和 8 首次从黄毛榕中分离得到。活性筛选结果显示化合物 1~6 以及 8 具有一定的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性,  $IC_{50}$  值范围为 76.25~263.18  $\mu$ mol/L。

**关键词:** 黄毛榕; 化学成分; 苯丙素;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶

中图分类号: R284.2

文献标识码: A

## Study on the compounds with $\alpha$ -Glucosidase inhibitory activity from leaves of *Ficus esquiroliana*

DAI De-cai\*, ZHANG Xiao-xiao,

XU Xiao-juan, LI Zi-ang, DONG Ling-yan, CHEN Qing-xia, ZHANG Rui

College of Chemistry and Materials Engineering, Hainan Vocational University of Science and Technology,

Haikou 571126, China

**Abstract:** This study aims to investigate the chemical constituents from the leaves *Ficus esquiroliana* H. Lévesque, together with their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities. Nine compounds were isolated and purified from the 95% ethanol extract of the title plant by using systematic separation methods, including silica gel column chromatography (CC), ODS CC, Sephadex LH-20 CC and semi-preparative liquid chromatography. Their structures were identified as *N-trans-ferulic-L-proline* methyl ester (1), *N-p-coumaroyltyramine* (2), 3',4',5'-trimethoxycinnamyl alcohol (3), lcariside H<sub>1</sub> (4), (-)-dendrolactone (5), 3-hydroxy-1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)-1-propanone (6), *trans-ferulic acid* (7), sinapyl alcohol (8) and (*E*)-*p-coumaric acid* (9) by NMR and HR-ESI-MS. Compound 1 is a undescribed one, compounds 2-6 and 8 were isolated for the first time from the leaves of *F. esquiroliana*. Compounds 1-6 and 8 showed  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities, with  $IC_{50}$  values of 76.25~263.18  $\mu$ mol/L.

**Key words:** *Ficus equiroliana*; chemical constituents; phenylpropanoids;  $\alpha$ -glucosidase

黄毛榕 (*Ficus equiroliana* H. Lév.) 是桑科中的一种小乔木, 主要分布在中国西南部、越南及老挝等地<sup>[1]</sup>。榕属大约包含 800 个物种, 其中许多种具有显著的药理活性, 可用于治疗与消化、呼吸、内分泌、生殖系统有关的一系列人类和动物疾病, 还可治疗胃肠道和泌尿道感染<sup>[1,2]</sup>。据《新华本草纲要》记载黄毛榕的根皮有健脾益气、活血祛风的功效, 并可用于治疗气血虚弱、风湿麻痹、子宫下垂以及脱肛等急症<sup>[3]</sup>。对于该植物的植物化学研究只有本课题组成员在进行, 为了深入挖掘我国特有的热带药用植物在治疗和预防人类重大疾病方面的巨大潜力, 本课题组前期已对该植物的根茎进行了系统的活性成分研究, 在对黄毛榕根茎的研究中我们发现了两个新的异黄酮以及一个新的苯丙素类衍生物<sup>[4,5]</sup>。

本文继续对黄毛榕的叶子进行系统的活性成分研究, 在对黄毛榕的叶子粗提物的活性筛选中发现其具有显著的降糖活性。因此本文对黄毛榕叶子中具有降糖活性的成分进行了追踪分离纯化以及鉴定。结合降糖活性并利用硅胶柱层析、ODS 柱层析, Sephadex LH-20 柱层析以及半制备 HPLC 等色谱分离技术, 对黄毛榕叶子的乙醇提取物进行追踪分离纯化; 并运用核磁、低分辨质谱以及旋光等技术对分离纯化的化合物进行了结构鉴定。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

Bruker AV-400 型核磁共振仪 (德国布鲁克公司); GAA076 LC 质谱仪 (德国布鲁克公司); Agilent 1260 半制备型高效液相色谱仪 (美国安捷伦公司); 旋光仪: JASCO P-1020 (日本电子株式会社)。

硅胶填料、柱层析用硅胶 (100~200 目, 200~300 目)、ODS 硅胶填料 (中国青岛海洋化工厂); Sephadex LH-20 填料 (中国圣一恒德 (北京) 科技有限公司); 色谱纯乙腈、分析纯甲醇、分析纯乙酸乙酯、分析纯氯仿、分析纯石油醚以及分析纯乙醇均 (中国西陇化工股份有限公司); Eclipse XDB-C<sub>18</sub> 半制备型色谱柱 (250 mm×9.4 mm, 5  $\mu$ m)。

### 1.2 植物材料

植物材料于 2021 年 8 月采自海南省国家级自然保护区霸王岭, 经海南科技职业大学代德财教授鉴定为黄毛榕 *Ficus equiroliana* H. Lév. 的枝叶, 其凭证标本 (编号 HMR20210803) 保存在海南科技职业大学化学与工程材料学院。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 提取与分离

将风干和粉末的黄毛榕枝叶 (15 kg) 用 25 L 的 95%乙醇室温浸泡, 每天搅拌 6 次, 共

浸泡 5 d, 8 层纱布过滤出浸泡液; 并重复浸泡 4 次, 合并 4 次的浸泡液在减压条件下 50 摄氏度浓缩得到乙醇的浸膏。黄毛榕乙醇浸膏 (521 g) 与等质量 100~200 目的硅胶进行拌样, 并以拌样质量 15 倍的 200~300 目硅胶作为柱填料进行柱层析, 以石油醚/乙酸乙酯混合液作为洗脱剂按 100 : 0→0 : 100 (V/V) 进行梯度洗脱, 并按 1 L 收集流分并减压浓缩。经薄层层析 (TLC) 检测后合并相似流分得到八个组分 Fr. 1~Fr. 8 (以香草醛浓硫酸显色剂进行显色)。对所有组分进行 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性测试, 结果表明 Fr.4 和 Fr.6 显示明显 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性。因此, 对 Fr.4 和 Fr.6 组分进行进一步研究。Fr.4 (21.3 g) 采用 200~300 目硅胶柱色谱分离, 以石油醚-乙酸乙酯混合液作为洗脱剂按从 5 : 1 至 1 : 2 (V/V) 进行梯度洗脱, 按照 250 mL 收集流分, 并经 TLC 检测后合并为 5 个小组分 Fr. 4.1~Fr. 4.5。Fr. 4.2 采用 Sephadex LH-20 凝胶柱除去色素, 洗脱剂为氯仿/甲醇 (1 : 1, V/V), 除去色素后用半制备 HPLC 进行分离 (洗脱剂为色谱乙腈/去离子水 = 35 : 65, 流速为: 2.5 mL/min) 得到化合物 1 (6.8 mg,  $t_R = 14.2$  min)、2 (5.7 mg,  $t_R = 18.7$  min) 与化合物 5 (4.8 mg,  $t_R = 11.3$  min); Fr. 4.3 采用 Sephadex LH-20 凝胶柱除去色素后, 用半制备 HPLC 进一步分离 (洗脱剂为色谱乙腈/去离子水 = 30 : 70, 流速为: 2.5 mL/min) 得到化合物 3 (8.1 mg,  $t_R = 17.5$  min)、化合物 6 (9.5 mg,  $t_R = 12.6$  min) 和化合物 8 (4.2 mg,  $t_R = 13.7$  min)。Fr. 4.4 采用 ODS 柱除去色素后, 用半制备 HPLC 进一步分离 (洗脱剂为色谱乙腈/去离子水 = 28 : 72, 流速为: 2.5 mL/min) 得到化合物 7 (11.2 mg,  $t_R = 15.2$  min) 与化合物 9 (15.7 mg,  $t_R = 16.8$  min)。Fr.6 (4.5 g) 经过 ODS 柱分离 (洗脱剂为甲醇/水 = 20 : 80, V/V) 纯化后进一步用半制备 HPLC 进行纯化分离 (洗脱剂为色谱乙腈/去离子水 = 25 : 75, 流速为: 2.5 mL/min) 得到化合物 4 (6.6 mg,  $t_R = 14.3$  min)。

### 1.3.2 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性测试

$\alpha$ -葡萄糖苷酶活性测定按照文献报道的对硝基苯- $\beta$ -D-半乳糖苷 (PNPG) 法进行<sup>[6]</sup>, PBS 缓冲液代替 $\alpha$ -葡萄糖苷酶作为空白对照, 阿卡波糖用作阳性对照, 每个实验均设置三个平行实验并重复三次。抑制率计算方法为: 抑制率 =  $[(OD_{\text{对照}} - OD_{\text{空白对照}}) - (OD_{\text{样品}} - OD_{\text{样品对照}})] / [(OD_{\text{对照}} - OD_{\text{空白对照}})] \times 100\%$ 。IC<sub>50</sub> 数据分析均采用 SPSS 统计分析软件进行分析计算。

## 2 结果

### 2.1 结构鉴定

化合物 1 为白色粉末状物  $[\alpha]_D^{25} = -65.6 (c 0.1, \text{MeOH})$ ; HR-ESI-MS:  $m/z$  290.139 6 [M-H]<sup>-</sup> (计算值 C<sub>16</sub>H<sub>20</sub>NO<sub>4</sub>, 290.139 8), 可确定其分子式为 C<sub>16</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>4</sub>。化合物 1 的 <sup>1</sup>H NMR 谱

中显示有两个反式双键的质子信号 $\delta_{\text{H}}$  6.58 (1H, d,  $J=16.0$  Hz, H-3) 和 6.11 (1H, dt,  $J=16.0, 7.2$  Hz, H-2), 一组 1,3,4-三取代苯环上的芳香质子信号 $\delta_{\text{H}}$  7.00 (1H, d,  $J=2.0$  Hz, H-5)、6.81 (1H, dd,  $J=8.0, 2.0$  Hz, H-8) 和 6.72 (1H, d,  $J=8.0$  Hz, H-9), 一个连氮次甲基氢信号 $\delta_{\text{H}}$  3.50 (1H, m, H-1'), 两组连氮亚甲基氢信号 3.72 (1H, dd,  $J=12.8, 7.2$  Hz, H-1a)、3.56 (1H, dd,  $J=12.8, 7.2$  Hz, H-1b)、3.41 (1H, m, H-4'a) 和 2.80 (1H, m, H-4'b), 两组亚甲基氢信号 $\delta_{\text{H}}$  2.20 (1H, m, H-2'a)、1.90 (1H, m, H-2'a)、1.85 (1H, m, H-3'a) 和 1.68 (2H, m, H-3'b), 两个甲氧基信号 $\delta_{\text{H}}$  3.76 (3H, s, 6-OMe) 和 3.66 (3H, s, 5'-OMe);  $^{13}\text{C}$  NMR 谱中显示有 16 个碳信号包括一个酯羰基碳信号( $\delta_{\text{C}}$  169.1), 8 个双键碳信号, 一个连氮次甲基碳信号( $\delta_{\text{C}}$  65.1), 两个连氮亚甲基碳信号( $\delta_{\text{C}}$  56.0 和 53.2), 两个亚甲基碳信号 ( $\delta_{\text{C}}$  30.2 和 23.5), 以及两个甲氧基碳信号 ( $\delta_{\text{C}}$  55.9 和 51.5) (见表 1)。

化合物 **1** 的  $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY 谱中 H-1 和 H-2、H-2 和 H-3、H-8 和 H-9 分别相关, 结合 HMBC 谱中 H-3 与 C-4/5/9、H-5/H-8/6-OMe 与 C-6 分别相关, 可以确定阿魏烷基片段的组成。 $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY 谱中 H-1'和 H-2'、H-2'和 H-3'、H-3'和 H-4'分别相关, 结合 HMBC 谱中 H-1'与 C-4'/5'、5'-OMe 与 C-5'分别相关, 可以确定脯氨酸甲酯片段的组成 (见图 1)。这两个片段的连接方式是通过 HMBC 相关确认的, HMBC 谱中 H-1 与 C-1'和 4'相关说明这两个片段是通过 C-1 与氮原子直接连在一起的。由于化合物 **1** 与其类似的化合物 (*L*-脯氨酸:  $[\alpha]_{\text{D}}^{25} = -85.2^{[4]}$ , phenylana:  $[\alpha]_{\text{D}}^{25} = -68.8^{[7]}$ ) 具有相似的旋光值, 因此 **1** 的构型被确定为 1'*S* 构型。化合物 **1** 的结构与课题组之前从黄毛榕茎中分离得到的 phenylana 结构极为相似, 只是化合物 **1** 中在 5'多了一个甲氧基, 基于生源合成途径也可以推断该化合物具有 1'*S* 构型。至此, 该化合物可以确定为一个新的苯丙素类化合物为 *N*-阿魏烷基-*L*-脯氨酸甲酯。目前从自然界发现的同时具有脯氨酸与苯丙素单元的化合物只有 *N*-阿魏烷基-*L*-脯氨酸甲酯和 phenylana。化合物 **1** 的详细结构鉴定数据原始图谱可从本刊官网免费下载 ([www.trcw.ac.cn](http://www.trcw.ac.cn))。

表 1 化合物 **1** 的  $^1\text{H}$  NMR (400 Hz) 和  $^{13}\text{C}$  NMR (100 Hz) 数据 (DMSO- $d_6$ )

Table 1  $^1\text{H}$  NMR (400 Hz) and  $^{13}\text{C}$  NMR (100 Hz) data of compound **1** (DMSO- $d_6$ )

位置 Position	<b>1</b>	
	$\delta_{\text{H}}$ ( $J$ in Hz)	$\delta_{\text{C}}$
1	3.72 (dd, 12.8, 7.2, H-1a)	56.0
	3.56 (dd, 12.8, 7.2, H-1b)	
2	6.11 (dt, 16.0, 7.2)	118.5
3	6.58 (d, 16.0)	136.4
4	-	127.4

5	7.00 (d, 2.0)	109.2
6	-	148.0
7	-	147.4
8	6.72 (d, 8.0)	115.8
9	6.81 (dd, 8.0, 2.0)	120.4
1'	3.50 (m)	65.1
2'	2.20 (m, H-2'a)	30.2
	1.90 (m, H-2'b)	
3'	1.85 (m, H-3'a)	23.5
	1.68 (m, H-3'b)	
4'	3.41 (m, H-4'a)	53.2
	2.80 (m, H-4'b)	
5'	-	169.1
6-OMe	3.76 (s)	55.9
5'-OMe	3.66 (s)	51.5

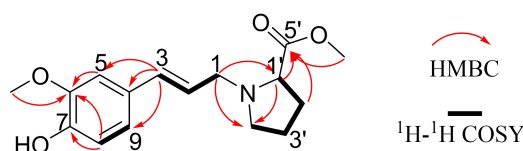


图1 化合物1关键的<sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY和HMBC相关

Fig. 1 Key <sup>1</sup>H-<sup>1</sup>H COSY and HMBC correlations of compound 1

**化合物2** 无色针状晶体 (甲醇); ESI-MS:  $m/z$ : 282.1 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, DMSO-*d*<sub>6</sub>)  $\delta$ : 7.38 (2H, d,  $J$  = 8.0 Hz, H-2, 6), 7.29 (1H, d,  $J$  = 15.6 Hz, H-7), 7.01 (2H, d,  $J$  = 8.0 Hz, H-2', 6'), 6.72 (2H, d,  $J$  = 8.0 Hz, H-3',5'), 6.38 (2H, d,  $J$  = 8.0 Hz, H-3, 5), 6.37 (1H, d,  $J$  = 15.6 Hz, H-8), 3.31 (2H, t,  $J$  = 6.8 Hz, H-8'), 2.64 (2H, t,  $J$  = 6.8 Hz, H-7'); <sup>13</sup>C NMR (CD<sub>3</sub>OD, 100 MHz)  $\delta$ : 130.1 (C-1), 129.1 (C-2, 6), 116.0 (C-3, 5), 157.8 (C-4), 139.7 (C-7), 118.6 (C-8), 165.3 (C-9), 129.8 (C-1'), 129.3 (C-2', 6'), 115.3 (C-3', 5'), 155.9 (C-4'), 34.7 (C-7'), 40.8 (C-8'). 上述数据与文献<sup>[8,9]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物2为*N*-反式-对香豆酰酪胺。

**化合物3** 无色膏状物; ESI-MS:  $m/z$  225.1 [M + H]<sup>+</sup>; <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 6.63 (2H, s, H-2', 6'), 6.57 (1H, d,  $J$  = 16 Hz, H-3), 6.22 (1H, dt,  $J$  = 16.0, 6.4 Hz, H-2), 4.73 (2H, dd,  $J$  = 6.8, 1.2 Hz, H-1), 3.88 (3H, s, 3'-OMe), 3.88 (3H, s, 5'-OMe), 3.84 (3H, s, 4'-OMe); <sup>13</sup>C NMR (CDCl<sub>3</sub>, 100 MHz)  $\delta$ : 65.4 (C-1), 122.8 (C-2), 134.5 (C-3), 132.2 (C-1'), 103.9 (C-3', 5'), 153.7 (C-3', 5'), 138.6 (C-4'), 56.2 (3', 5'-OMe), 61.3 (4'-OMe)。上述数据与文献<sup>[10,11]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物3为3',4',5'-三甲氧基肉桂醇。

**化合物 4** 无色膏状物;  $[\alpha]_D^{25} = -32.5$  ( $c$  0.1,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ), ESI-MS:  $m/z$  387.2  $[\text{M} + \text{H}]^+$ ;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 6.75 (2H, s, H-2, 6), 6.65 (1H, d,  $J = 16.0$  Hz, H-7), 6.33 (1H, dd,  $J = 16.0, 6.4$  Hz, H-8), 4.53 (1H, dd,  $J = 13.6, 6.0$  Hz, H-9a), 4.38 (1H, d,  $J = 7.6$  Hz, H-1'), 4.33 (1H, dd,  $J = 13.6, 1.6$  Hz, H-9b), 3.86 (6H, s, 3, 5-OMe), 3.77 (3H, s, 4-OMe), 3.20~3.92 (6H, m, H-2'~6');  $^{13}\text{C}$  NMR ( $\text{CD}_3\text{OD}$ , 100 MHz)  $\delta$ : 134.5 (C-1), 105.1 (C-2, 6), 154.8 (C-3, 5), 138.9 (C-4), 133.6 (C-7), 126.6 (C-8), 70.6 (C-9), 103.4 (H-1'), 75.4 (H-2'), 78.3 (H-3'), 71.6 (H-4'), 78.1 (H-5'), 62.9 (H-6'), 56.1 (3, 5-OMe), 61.2 (4-OMe)。上述数据与文献<sup>[11]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物 **4** 为 3',4',5'-三甲氧基肉桂醇-1- $\beta$ -D-葡萄糖苷。

**化合物 5** 白色粉末状物;  $[\alpha]_D^{25} = -105$  ( $c$  0.2, MeOH), ESI-MS:  $m/z$  279.1  $[\text{M} - \text{H}]^-$ ;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 6.58 (2H, s, H-8a, 8b), 4.59 (2H, d,  $J = 6.4$  Hz, H-6), 4.51 (1H, dd,  $J = 10.0, 6.4$  Hz, H-4 $\beta$ ), 4.39 (1H, dd,  $J = 9.2, 8.4$  Hz, H-3 $\beta$ ), 4.34 (1H, dd,  $J = 10.0, 2.0$  Hz, H-4 $\alpha$ ), 4.20 (1H, dd,  $J = 9.2, 2.4$  Hz, H-3 $\alpha$ ), 3.91 (6H, s, 9a, 9b-OMe), 3.46 (1H, m, H-2), 3.11 (1H, m, H-5);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 178.3 (C-1), 46.2 (C-2), 70.2 (C-3), 69.8 (C-4), 48.6 (C-5), 86.5 (C-6), 130.0 (C-7), 103.0 (C-8a, 8b), 147.6 (C-9a, 9b), 135.1 (C-10), 56.6 (9a, 9b-OMe)。上述数据与文献<sup>[12]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物 **5** 为(-)-dendrolactone。

**化合物 6** 无色膏状物; ESI-MS:  $m/z$  227.1  $[\text{M} + \text{H}]^+$ ;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $(\text{CD}_3)_2\text{CO}$ )  $\delta$ : 7.33 (2H, s, H-2, 6), 3.90 (2H, br s, H-9), 3.88 (6H, s, 3, 5-OMe), 3.15 (2H, t,  $J = 6.4$  Hz, H-8);  $^{13}\text{C}$  NMR (Acetone- $d_6$ , 100 MHz)  $\delta$ : 129.0 (C-1), 106.7 (C-2, 6), 148.3 (C-3, 5), 141.8 (C-4), 198.1 (C-7), 41.5 (C-8), 58.6 (C-9), 56.6 (3, 5-OMe)。上述数据与文献<sup>[13,14]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物 **6** 为 3-羟基-1-(4-羟基-3,5-二甲氧基苯基)-1-丙酮。

**化合物 7** 无色膏状物; ESI-MS:  $m/z$  193.1  $[\text{M} - \text{H}]^-$ ;  $^1\text{H}$  NMR (400 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 7.71 (1H, d,  $J = 15.6$  Hz, H-3), 7.25 (1H, d,  $J = 2.0$  Hz, H-5), 7.15 (1H, dd,  $J = 8.4, 2.0$  Hz, H-9), 6.92 (1H, d,  $J = 8.4$  Hz, H-8), 6.41 (1H, d,  $J = 15.6$  Hz, H-2), 3.96 (3H, s, 6-OMe);  $^{13}\text{C}$  NMR (100 MHz,  $\text{CD}_3\text{OD}$ )  $\delta$ : 171.2 (C-1), 124.3 (C-2), 147.0 (C-3), 128.2 (C-4), 111.9 (C-5), 151.1 (C-6), 149.8 (C-7), 116.1 (C-8), 116.9 (C-9), 56.7 (6-OMe)。上述数据与文献<sup>[15,16]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物 **7**

为反式阿魏酸。

**化合物 8** 无色膏状物；ESI-MS:  $m/z$  209.1 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>1</sup>H NMR (400 MHz, CD<sub>3</sub>OD)  $\delta$ : 6.78 (2H, s, H-2, 6), 6.53 (1H, d,  $J=15.6$  Hz, H-7), 6.25 (1H, dd,  $J=15.6, 6.4$  Hz, H-8), 4.24 (2H, d,  $J=6.4$  Hz, H-9), 3.85 (6H, s, 3, 5-OMe); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CD<sub>3</sub>OD)  $\delta$ : 138.5 (C-1), 106.2 (C-2, 6), 150.1 (C-3, 5), 130.4 (C-4), 133.2 (C-7), 127.5 (C-8), 64.4 (C-9), 56.5 (3, 5-OMe)。上述数据与文献<sup>[17,18]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物 **8** 为 4'-羟基-3',5'-二甲氧基肉桂醇。

**化合物 9** 无色针晶(甲醇); ESI-MS:  $m/z$  163.0 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>1</sup>H-NMR (400 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 7.53 (1H, d,  $J=15.6$  Hz, H-8), 7.38 (2H, d,  $J=8.4$  Hz, H-2, 6), 6.75 (2H, d,  $J=8.4$  Hz, H-3, 5), 6.22 (1H, d,  $J=15.6$  Hz, H-7); <sup>13</sup>C NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 127.3 (C-1), 130.9 (C-2, 6), 115.6 (C-3, 5), 160.6 (C-4), 146.6 (C-7), 116.7 (C-8), 171.2 (C-9)。上述数据与文献<sup>[19,20]</sup>报道的数据基本一致, 因此鉴定化合物 **9** 为对羟基反式肉桂酸。

化合物 **1-9** 的结构见图 2。

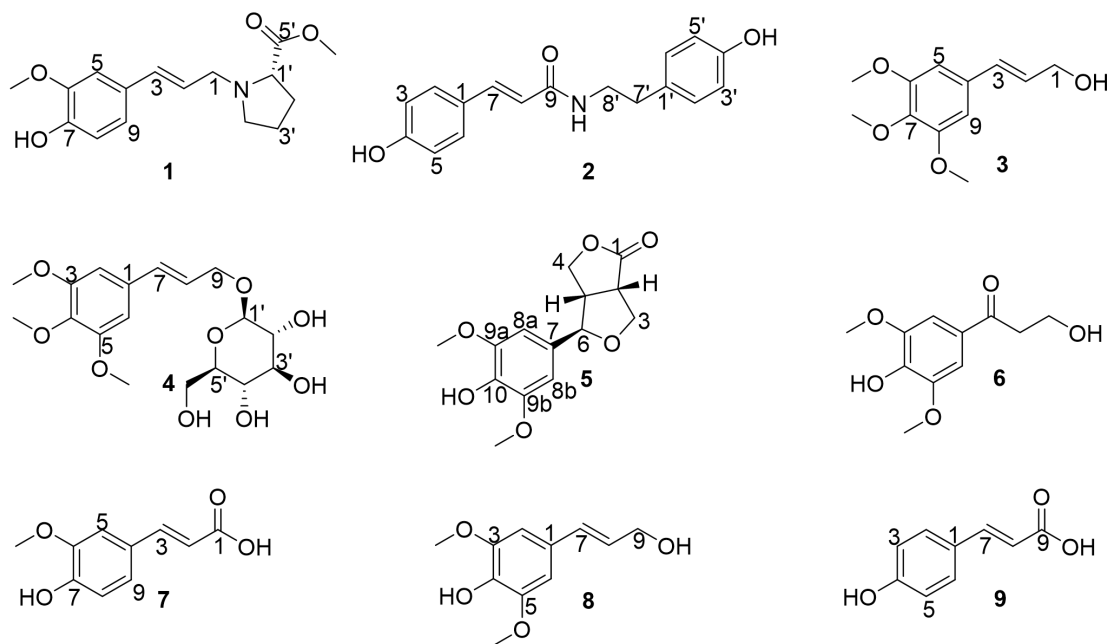


图 2 从黄毛榕叶中分离的化合物 **1-9** 的结构

Fig. 2 Structures of compounds **1-9** from leaves of *F. equiroliana*

## 2.2 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性

$\alpha$ -葡萄糖苷酶活性测定表明化合物 **1-6** 以及 **8** 显示一定的抑制活性, 其 IC<sub>50</sub> 范围为 76.25~263.18  $\mu\text{mol/L}$  (见表 2), 其中化合物 **1**、**4**、**5** 和 **6** 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性强于

阳性对照阿卡波糖。

表 2 化合物 1~9 的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性结果 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

Table 2  $\alpha$ -Glucosidase inhibitory activity of compounds 1-9 ( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

化合物 Compound	IC <sub>50</sub> ( $\mu\text{mol/L}$ )	化合物 Compound	IC <sub>50</sub> ( $\mu\text{mol/L}$ )
1	168.36 $\pm$ 1.25	6	154.73 $\pm$ 1.99
2	216.84 $\pm$ 2.27	7	>600
3	255.35 $\pm$ 1.56	8	358.24 $\pm$ 3.37
4	106.79 $\pm$ 0.98	9	>600
5	76.25 $\pm$ 1.19	阿卡波糖 Acarbose	187.23 $\pm$ 3.12

### 3 讨论与结论

本研究从黄毛榕叶子中分离鉴定了 9 个苯丙素类化合物,包括 1 个新化合物和 8 个已知化合物,化合物 2~6 和 8 首次从黄毛榕中分离得到。化合物 1 是一个罕见的具有脯氨酸甲酯单元的苯丙素,该类天然产物也是我们课题首次从黄毛榕茎中发现,目前报道的天然产物中仅有 2 个这类骨架的化合物。体外  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性实验结果显示 1-6 以及 8 显示一定的抑制活性,其 IC<sub>50</sub> 范围为 76.25~263.18  $\mu\text{mol/L}$ ,其中化合物 1、4、5 和 6 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性强于阳性对照阿卡波糖。黄毛榕中主要以多酚类化合物为主,其中叶子中含苯丙素类成分较多,根中含黄酮比较多。本研究阐明了黄毛榕叶中具有  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的主要成分,为其药用提供了一定的科学依据。

#### 参考文献

- 1 Olaoluwa A,Taiwo O,Nahar L,et al.Ethnopharmacology,phytochemistry and biological activities of selected African species of the genus *Ficus*[J].Trends Phytochem Res,2022,6:46-69.
- 2 Badgujar SB,Patel VV,Bandivdekar AH,et al.Traditional uses,phytochemistry and pharmacology of *Ficus carica*:A review[J].Pharm Biol,2014,52:1487-1503.
- 3 Institute of Botany Jiangsu Province. Xinhua Outline of Materia Medica:Vol II(新华本草纲要:第二册)[M].Shanghai:Shanghai Science and Technology Publishing,1991:16.
- 4 Dai DC,Xu XF,Yan H,et al.Phenylpropanoid derivatives from *Ficus esquiroliana* and their chemotaxonomic significance[J].Biochem Syst Ecol,2022,105:104509.
- 5 Dai DC,Xu XF,Yan H,et al.Two novel isoflavone derivatives from *Ficus esquiroliana* Levl. and their cytotoxic effects on cancer cells[J].Phytochemistry Lett,2022,52:45-48.
- 6 Ma K,Han JJ,Bao L,et al.Two Sarcoviolins with antioxidative and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity from the edible mushroom *Sarcodon leucopus* collected in Tibet[J].J Nat Prod,2014,77:942-947.



- 7 Babidge PJ, Massy-Westropp RA, Pyne SG, et al. The synthesis and stereochemistry of odorine[J]. Aust J Chem, 1980, 33: 1841-1845.
- 8 Victor GC, Maria YR. <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C NMR data, occurrence, biosynthesis, and biological activity of *Piper amides*[J]. Magn Reson Chem, 2019, 57: 994-1070.
- 9 Li XB, Chen GY, Shao TM, et al. Alkaloids from the Roots of *Polyalthia laui*[J]. J Chin Med Mater(中药材), 2017, 40: 2069-2072.
- 10 Mohammad I, Waterman PG, Thomas DW. Chemistry in the Annonaceae, XVII. Phenylpropenes from *Uvariadendron connivens* Seeds[J]. J Nat Prod, 1985, 48: 328-329.
- 11 Kuang X, Yang JY, Cai J, et al. Chemical constituents of phenylpropanoids from the flower bud of *Trachycarpus fortunei*[J]. J Chin Med Mater(中药材), 2019, 42: 2557-2560.
- 12 Zhou XM, Zheng CJ, Wu JT, et al. Five new lactone derivatives from the stems of *Dendrobium nobile*[J]. Fitoterapia, 2016, 115: 96-100.
- 13 Zhu JX, Ren J, Qin JJ, et al. Phenylpropanoids and lignanoids from *Euonymus acanthocarpus*[J]. Arch Pharm Res, 2012, 35: 1739-1747.
- 14 Yi XQ, Wang X, Sun QH, et al. Chemical constituents from *Metaplexis japonica*[J]. Chin Trad Patent Med(中成药), 2023, 45: 453-458.
- 15 Liu XX, Qin LQ, Jiang XT, et al. Chemical constituents from *Amaranthus caudatus* and their antioxidation activities[J]. Chin Trad Patent Med(中成药), 2023, 45: 1870-1876.
- 16 Wang KH, Zhang YT, Yang XW, et al. Chemical constituents from *Fukeqianjin formula*[J]. China J Chin Mater Med(中国中药杂志), 2018, 43: 2300-2312.
- 17 Kishimoto T, Takahashi N, Hamada M, et al. Biomimetic oxidative coupling of sinapyl acetate by silver oxide: preferential formation of  $\beta$ -O-4 type structures[J]. J Agric Food Chem, 2015, 63: 2277-2283.
- 18 Zhao QQ, Wang J, Wang XY, et al. Study on chemical constituents of *Ligularia veitchiana*[J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2019, 50: 5212-5216.
- 19 Ren J, Pan SQ, Zhao XF, et al. Chemical constituents from leaves of *Styrax japonicus*[J]. Chin Tradit Herb Drugs(中草药), 2019, 50: 30-35.
- 20 Wang T, Liang YN, Hou BL, et al. Study on chemical components from *Hedyotis diffusa* Willd and their anti-tumour activity[J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2022, 34: 1281-1288.

收稿日期: 2024-03-14

接受日期:

基金项目：国家级大学生创新训练项目（14172）；海南省大学生创新训练项目（S202114172029）

\*通信作者 E-mail: 15120843678@163.com