



### 木麻黄根乙酸乙酯部位化学成分研究

高阮玲, 罗喻才, 马咏仪, 王国凯, 周忠玉

引用本文:

高阮玲,罗喻才,马咏仪,王国凯,周忠玉. 木麻黄根乙酸乙酯部位化学成分研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(2): 289–294.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4747>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 木槿的化学成分研究

Chemical Constituents from the Stems of *Hibiscus syriacus*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 331–338 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4288>

#### 杨桃叶的化学成分研究

Chemical Constituents from the Leaves of *Averrhoa carambola*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(1): 105–111 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4246>

#### 姜状三七根茎的皂苷类化学成分研究

Saponins from Rhizomes of *Panax zingiberensis*

热带亚热带植物学报. 2022, 30(6): 884–O15–1 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4525>

#### 大叶桃花心木树皮化学成分研究

Chemical Constituents from Barks of *Swietenia macrophylla*

热带亚热带植物学报. 2023, 31(1): 141–146 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4539>

#### 交趾黄檀心材的黄酮类和三萜类成分

Flavonoid and Triterpenoid Compounds from the Heartwood of *Dalbergia cochinchinensis*

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 573–578 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4435>

向下翻页，浏览PDF全文

# 木麻黄根乙酸乙酯部位化学成分研究

高阮玲<sup>1,2</sup>, 罗喻才<sup>2,3</sup>, 马咏仪<sup>2,3</sup>, 王国凯<sup>1\*</sup>, 周忠玉<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 安徽中医药大学药学院中药研究与开发安徽省重点实验室, 合肥 230012; 2. 中国科学院华南农业植物分子分析与遗传改良重点实验室, 广东省应用植物学重点实验室, 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 3. 华南国家植物园, 广州 510650)

**摘要:** 为阐明木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)的化学成分, 采用有机溶剂提取、萃取及多种分离技术, 从其根中分离得到 14 个化合物。经光波谱分析, 其结构分别鉴定为 5-hydroxy-3-methoxyphenyl-6-O-syringoyl- $\beta$ -D-glucopyranoside (1), 高良姜苷 A (2), heterophylloside C (3)、6'-O-vanilloylisotachioside (4)、3,4,5-trimethoxyphenyl-6-O-syringoyl- $\beta$ -D-glucopyranoside (5)、香草醛 (6)、丁香醛 (7)、3,4-二羟基苯甲醛 (8)、齐墩果酸 (9)、桦木酸 (10)、胡萝卜苷 (11)、胡萝卜苷亚油酸酯 (12)、( $\pm$ )-lyoniresinol 2-O- $\alpha$ -rhamnoside (13)和(-)-9-acetyl-isolariciresinol 9'-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranoside (14), 其中化合物 14 为新的木脂素。

**关键词:** 木麻黄; 化学成分; 木脂素

doi: 10.11926/jtsb.4747

## Chemical Constituents of Ethyl Acetate Extract of *Casuarina equisetifolia* Roots

GAO Ruanling<sup>1,2</sup>, LUO Yucan<sup>2,3</sup>, MA Yongyi<sup>2,3</sup>, WANG Guokai<sup>1\*</sup>, ZHOU Zhongyu<sup>1,2,3\*</sup>

(1. School of Pharmacy, Anhui University of Chinese Medicine, Anhui Province Key Laboratory of Research & Development of Chinese Medicine, Hefei 230012, China; 2. Key Laboratory of South China Agricultural Plant Molecular Analysis and Genetic Improvement & Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 3. South China National Botanical Garden, Guangzhou 510650, China)

**Abstract:** To clarify the chemical constituents in *Casuarina equisetifolia*, fourteen compounds were isolated by organic solvent extraction, fractionation, and a variety of chromatographic separation techniques. Based on spectroscopic data, their structures were identified as 5-hydroxy-3-methoxyphenyl-6-O-syringoyl- $\beta$ -D-glucopyranoside (1), alpinoside A (2), heterophylloside C (3), 6'-O-vanilloylisotachioside (4), 3,4,5-trimethoxyphenyl-6-O-syringoyl- $\beta$ -D-glucopyranoside (5), vanillin (6), syringaldehyde (7), 3,4-dihydroxybenzaldehyde (8), oleanolic acid (9), betulinic acid (10),  $\beta$ -sitosterol glucoside (11), daucosterol-6'-linoleate (12), ( $\pm$ )-lyoniresinol 2-O- $\alpha$ -rhamnoside (13), and (-)-9-acetyl-isolariciresinol 9'-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranoside (14). Among them, compound 14 is a new lignan derivative.

**Key words:** *Casuarina equisetifolia*; Chemical component; Lignan

木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)为木麻黄科(Casuarinaceae)木麻黄属植物, 原产于澳大利亚及太平洋岛屿, 越南、泰国、缅甸、菲律宾、马来西亚、印度尼西亚、巴布亚新几内亚也有分布, 广东、

广西、福建、台湾沿海一带普遍种植<sup>[1]</sup>。木麻黄具有重要的药用价值, 树皮、枝、叶、种子都可入药<sup>[2]</sup>。据《中华本草》记载, 木麻黄具有宣肺止咳、行气止痛, 温中止泻, 利湿的功效<sup>[2]</sup>。现代天然药物化

收稿日期: 2022-11-10 接受日期: 2022-12-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(31970376); 国家重点研发项目(2021YFC3100401)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31970376), the National Key Research and Development Program of China (Grant No. 2021YFC3100401).

作者简介: 高阮玲(1997年生), 女, 硕士研究生, 研究方向天然药物化学。E-mail: 2829420594@qq.com

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhouzhongyu@scbg.ac.cn; wangkg@ahtcm.edu.cn

学对木麻黄植物的研究发现,该植物具有丰富多样的生物活性,包括抗氧化<sup>[3]</sup>、抗菌<sup>[4]</sup>、抗痘<sup>[5]</sup>、肾保护<sup>[6]</sup>、神经保护<sup>[7]</sup>、镇痛<sup>[8]</sup>等多种生物活性。国内外关于木麻黄叶、皮、根瘤、凋落物的次级代谢产物都有研究报道<sup>[9]</sup>,然而关于木麻黄根的次级代谢产物相对空白。前期我们从木麻黄根中分离鉴定了 4 个新的和 6 个已知的大环二芳基庚烷类化学成分<sup>[10]</sup>。本研究继续报道木麻黄根的化学成分,分离鉴定了 1 个新的木脂素,(-)-9-acetyl-isolariciresinol 9'-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranoside (**14**),以及 13 个已知化合物。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验材料由中国林业科学院热带林业研究所仲崇禄教授和张勇教授于 2020 年 6 月采自于广东省吴川市。

柱层析硅胶(80~100、200~300 目)、薄层硅胶层析板 HSGF254(烟台江友硅胶开发公司);葡聚糖凝胶 Sephadex LH-20(瑞典 Amersham Biosciences)。

### 1.2 仪器与试剂

分析用 HPLC(日本 Shimadzu 公司),配备 SPD-M20A 二极管阵列检测器、LC-20AT 溶剂输送泵和 SIL-20A 自动进样器;色谱柱为安捷伦 ZORBAX SB-Aq (5  $\mu$ m, 4.6 mm $\times$ 250 mm)。半制备/制备用 HPLC(日本 Shimadzu 公司),配备 CBM-20A 系统控制器、SPD-20A 紫外-可见光检测器和 LC-6AD 溶剂输送泵,色谱柱为 Cosmosil 公司的 5C18-MS-II (10ID $\times$ 250 mm)。制备用 MPLC 为北京创新通恒科技有限公司的 LC3000 液相色谱仪。

分析纯石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯、甲醇等(天津市百世化工有限公司和天津富宇试剂公司);分析纯氯仿、丙酮和硫酸(广州化学试剂厂);色谱级甲醇和乙腈(天津市康科德科技有限公司);氘代氯仿、甲醇、吡啶、二甲基亚砜(美国剑桥同位素实验室(CIL)公司);L-鼠李糖标准品(阿达玛斯试剂有限公司)。

### 1.3 提取和分离

木麻黄根晒干粉碎(7.26 kg),用 90%乙醇浸提 3 次,合并提取液,减压浓缩得提取物浸膏 698.36 g。提取物浸膏用水溶解,倒入分液漏斗依次用石油醚、乙酸乙酯、正丁醇分别萃取 3 次,合并各部分萃取液,减压浓缩得到石油醚萃取物 10.05 g、乙酸

乙酯萃取物 35.62 g、正丁醇萃取物 24.89 g。本研究对木麻黄根乙酸乙酯萃取物进行分离与鉴定,其石油醚与正丁醇萃取物暂未研究。

乙酸乙酯萃取物经硅胶柱色谱分离,以二氯甲烷-甲醇洗脱剂(100:0~0:100)梯度洗脱,收集流份,每份 1 L,经过薄层色谱分析,合并得到 15 个组分 F1~F15。F2 (2461.4 mg)经硅胶柱层析,以石油醚-乙酸乙酯(250:1~0:100)洗脱,得到亚组分 F2-1~F2-10。F2-10 经硅胶柱层析,以石油醚-乙酸乙酯(100:1~0:100)洗脱,得到亚组分 F2-10-1~F2-10-8。F2-10-7 经葡聚糖凝胶柱层析,二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱,得到亚组分 F2-10-7-1~F2-10-7-6。F2-10-7-6 经 HPLC 纯化,以乙腈-水(19:81)为流动相,流速 2 mL/min,得化合物 **6** ( $t_R$ =27.5 min, 7.8 mg)。F2-10-8 经 HPLC 纯化,以乙腈-水(13:87)为流动相,流速 2 mL/min,得化合物 **7** ( $t_R$ =57.6 min, 10 mg)。F3 (815.1 mg)经硅胶柱层析,以石油醚-乙酸乙酯(250:1~0:100)洗脱,得到亚组分 F3-1~F3-10。F3-7 经葡聚糖凝胶柱层析,二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱,得到亚组分 F3-7-1~F3-7-4。F3-7-4 经 HPLC 纯化,以乙腈-水(89:11)为流动相,流速 2 mL/min,得化合物 **10** ( $t_R$ =37.6 min, 2.1 mg)。F3-9 经葡聚糖凝胶柱层析,二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱,得到亚组分 F3-9-1~F3-9-3, F3-9-2 经 HPLC 纯化,以乙腈-水(89:11)为流动相,流速 2 mL/min,得化合物 **9** ( $t_R$ =42.6 min, 4.1 mg)。F6 (2126.5 mg)经硅胶柱层析,以石油醚-乙酸乙酯(250:1~0:100)洗脱,得到亚组分 F6-1~F6-5。F6-1 经葡聚糖凝胶柱层析,二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱,得到亚组分 F6-1-1~F6-1-4。F6-1-4 经 HPLC 纯化,以乙腈-水(27:73)为流动相,流速 2 mL/min,  $t_R$ =10.9 min, 得流份 F6-1-4-1。F6-1-4-1 经硅胶柱层析,以二氯甲烷-甲醇(500:1)洗脱,得化合物 **8** (3.0 mg)。F7 (3517.7 mg)经硅胶柱层析,以石油醚-乙酸乙酯(250:1~0:100)洗脱,得化合物 **12** (301.0 mg)。F8 (7421.4 mg)经中压液相色谱,以甲醇-水(20:80~100:0)洗脱,得到亚组分 F8-1~F8-19。F8-4 经硅胶柱层析,以二氯甲烷-甲醇(150:1~0:100)洗脱,得到亚组分 F8-4-1~F8-4-3。F8-4-3 经葡聚糖凝胶柱层析,二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱,得到亚组分 F8-4-3-1~F8-4-3-2。F8-4-3-1 经 HPLC 纯化,以甲醇-水(45:55)为流动相,流速 2 mL/min,得化合物 **13** ( $t_R$ =0.9 min, 7.5 mg)。F8-5 经硅胶柱层析,以二氯甲烷-甲醇(100:1~0:100)洗脱,得到亚组分 F8-5-1~F8-5-4。F8-5-3 经葡聚糖凝胶柱层析,二氯甲烷/甲醇(1:1)洗

脱, 得到亚组分 F8-5-3-1~F8-5-3-3。F8-5-3-1 经 HPLC 纯化, 以甲醇-水(35:65)为流动相, 流速 2 mL/min, 得化合物 **1** ( $t_R=27.3$  min, 12.5 mg)和 **2** ( $t_R=29.8$  min, 9.3 mg)。F8-5-3-3 经 HPLC 纯化, 以甲醇-水(30:70)为流动相, 流速 2 mL/min, 得化合物 **3** ( $t_R=34.6$  min, 3.3 mg)和 **4** ( $t_R=38.1$  min, 2.6 mg)。F8-8 经硅胶柱层析, 以二氯甲烷-甲醇(100:1~0:100)洗脱, 得到亚组分 F8-8-1~F8-8-6。F8-8-4 经葡聚糖凝胶柱层析, 二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱, 得到亚组分 F8-8-4-1~F8-8-4-4。F8-8-4-1 经 HPLC 纯化, 以甲醇-水(42:58)为流动相, 流速 2 mL/min, 得化合物 **5** ( $t_R=14.5$  min, 9.0 mg)。F8-11-4 经葡聚糖凝胶柱层析, 二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱, 得到亚组分 F8-11-4-1~F8-11-4-3。F8-11-4-2 经 HPLC 纯化, 以甲醇-水(27:73)为流动相, 流速 2 mL/min, 得化合物 **14** ( $t_R=46.3$  min, 3.5 mg)。F8-17 经葡聚糖凝胶柱层析, 二氯甲烷/甲醇(1:1)洗脱, 得化合物 **11** (11.1 mg)。化合物 **1**~**14** 的结构见图 1。

(-)-9-acetyl-isolariciresinol 9'-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranoside (**14**) 分子式  $C_{28}H_{36}O_{11}$ , 灰色无定形固体, 易溶于氯仿;  $[\alpha]_D^{20} -59.0$  ( $c$  0.2, MeOH); UV (MeOH)  $\lambda_{max}$  (log  $\epsilon$ ) nm 256 (0.53), 283 (1.65); ESI-MS  $m/z$ : 571  $[M + Na]^+$ ; HR-ESI-MS  $m/z$ : 549.2326

$[M + H]^+$  (计算值: 549.2330); 氢谱和碳谱数据见表 1。

#### 1.4 化合物 **14** 的酸水解及衍生化反应

参考 Gou 等<sup>[11]</sup>的方法, 取 2.5 mg 化合物 **14** 溶于 5 mL 2 mol/L 的盐酸中, 100 °C 回流 4 h, 减压浓缩至干, 加入 5 mL 蒸馏水溶解, 用乙酸乙酯萃取 3 次, 每次 5 mL。乙酸乙酯部分为化合物 **14** 的苷元, 苷元溶解于甲醇, 测试旋光值  $[\alpha]_D^{20} = -11.0$  ( $c$  0.1, MeOH)。水部分减压浓缩至干, 加入 1 mL 浓度为 1 mg/mL 的 L-半胱氨酸甲酯盐酸盐吡啶溶液, 60 °C 反应 1 h, 加入 2  $\mu$ L 邻甲苯异硫氰酸酯, 再反应 1 h, 减压浓缩至干, 加入 1 mL 甲醇溶液溶解, 滤液经高效液相分析, 以乙腈/水/乙酸(21:79:0.1)为流动相, 流速为 1 mL/min。L-鼠李糖以同样方法进行衍生化反应, 并使用高效液相分析, 与化合物 **14** 水解、衍生化产物进行比对。

## 2 结果与讨论

化合物 **14** 为灰色无定形固体, 易溶于氯仿, ESI 质谱显示明显的准分子离子峰  $m/z$  571  $[M + Na]^+$ , 表明分子量为 548。通过 HR-ESI-MS 的准分子离子峰  $m/z$  549.2326  $[M + H]^+$  推出分子式为  $C_{28}H_{36}O_{11}$  (计算值: 549.2330)。<sup>1</sup>H NMR 中, 低场区有 5 个芳

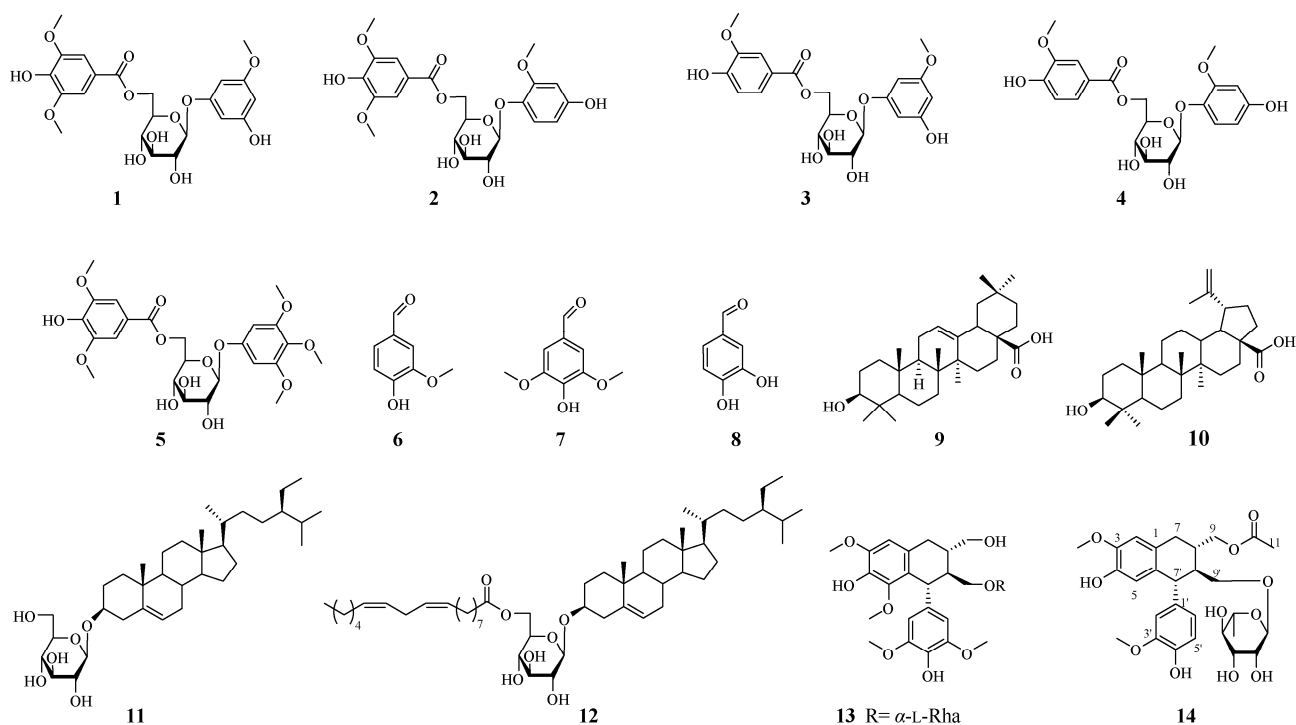


图1 化合物 **1**~**14** 的结构

Fig. 1 Structures of compounds **1**-**14**

表 1 化合物 **14** 的核磁共振氢谱(500 MHz)和碳谱数据(125 MHz)Table 1  $^1\text{H}$  NMR and  $^{13}\text{C}$  NMR (500 and 125 MHz) data of compound **14** in  $\text{CDCl}_3$ 

No.	$\delta_{\text{H}}$	$\delta_{\text{C}}$	No.	$\delta_{\text{H}}$	$\delta_{\text{C}}$
1		127.1	4'		144.5
2	6.59 (s)	110.4	5'	6.85 (d, 8.0)	114.6
3		145.1	6'	6.63 (dd, 8.0, 1.9)	122.4
4		143.9	7'	3.79 (d, 11.1)	47.4
5	6.28 (s)	115.4	8'	1.89 (m)	44.1
6		132.9	9'	a 3.58 (m), b 3.34 (dd, 10.0, 3.2)	67.7
7	$\alpha$ 2.77 (dd, 15.8, 10.0), $\beta$ 2.86 (dd, 15.8, 5.0)	32.8	Rha1	4.66 (d, 1.7)	100.2
8	2.26 m	36.1	Rha2	3.90 (dd, 2.8, 1.7)	71.0
9	a 4.35 (dd, 11.0, 4.1), b 3.94 (m)	67.2	Rha3	3.76 (m)	72.0
10		171.7	Rha4	3.41 (t, 9.4)	73.6
11	2.08 (s)	21.2	Rha5	3.63 (m)	68.3
1'		136.1	Rha6	1.23 (d, 6.2)	17.5
2'	6.59 (d, 1.9)	111.7	3-OCH <sub>3</sub>	3.86 (s)	56.1
3'		146.9	3'-OCH <sub>3</sub>	3.83 (s)	56.1

香质子信号  $\delta_{\text{H}}$  6.85 (1H, d,  $J = 8.0$  Hz), 6.63 (1H, dd,  $J = 8.0, 1.9$  Hz), 6.59 (1H, d,  $J = 1.9$  Hz), 6.59 (1H, s) 和 6.28 (1H, s), 通过耦合常数分析, 可知  $\delta_{\text{H}}$  6.85、6.63、6.59 为一组 1,3,4 三取代的苯环质子信号,  $\delta_{\text{H}}$  6.59 和  $\delta_{\text{H}}$  6.28 为一组 1,3,4,6 四取代的苯环质子信号;  $\delta_{\text{H}}$  4.66 (1H, d,  $J = 1.7$  Hz) 和 1.23 (3H, d,  $J = 6.2$  Hz) 为鼠李糖的特征质子信号。 $^{13}\text{C}$  NMR 谱中显示了 28 个碳信号, 结合 HSQC, 结构中包括 12 个芳基碳, 鼠李糖基 6 个碳, 乙酰基 2 个碳( $\delta_{\text{C}}$  171.7, 21.2), 2 个甲氧基碳, 3 个亚甲基, 3 个次甲基。减去乙酰基、甲氧基、鼠李糖基, 经分析剩余的分子母核为木脂素。通过检索文献, 化合物 **14** 与文献[12]报道的 aviculin 很相似, 差异之处在于化合物 **14** 比 aviculin 多了 1 个乙酰基。HMBC 谱中, H<sub>2</sub>-9 ( $\delta_{\text{H}}$  4.35, 3.94) 与乙酰基中的羰基( $\delta_{\text{C}}$  171.7) 有明显相关信号, 表明乙酰基连接在 C-9 位(图 2: A)。H<sub>2</sub>-9 的化学位移  $\delta_{\text{H}}$  4.35, 3.94 比 aviculin 对应的氢信号( $\delta_{\text{H}}$  3.63, 3.71) 向低场移动, 进一步证明乙酰基连接在 C-9 位。 $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY 谱图中, 观察到 H<sub>2</sub>-7 与 H-8、H-8 与 H<sub>2</sub>-9 和 H-8'、H-8' 与 H-7' 和 H<sub>2</sub>-9' 有明显相关信号, 证明了如图 2: A 中的 H<sub>2</sub>-7/H-8/H<sub>2</sub>-9, H-8/H-8', 和 H-7'/H-8'/H<sub>2</sub>-9' 自旋耦合体系。

对比  $\alpha$ -鼠李糖<sup>[13]</sup>和  $\beta$ -鼠李糖<sup>[14]</sup>的碳谱数据, 化合物 **14** 中鼠李糖的碳谱数据与  $\alpha$ -鼠李糖的一致, 表明化合物 **14** 中连接的鼠李糖为  $\alpha$ -构型。化合物 **14** 经酸水解、衍生化、HPLC 分析, 保留时间为 22.4 min, L-鼠李糖标品的保留时间为 22.5 min, 表明化合物 **14** 中的鼠李糖为 L 构型。

$^1\text{H}$  NMR 中, H-7' 的耦合常数较大, 为 11.1 Hz, 表明 H-7' 和 H-8' 处于直立键-直立键的相对位置。H<sub>2</sub>-7 的 2 个质子信号  $\delta_{\text{H}}$  2.86 (dd, 15.8, 5.0) 和 2.77 (dd, 15.8, 10.0), 其中耦合常数 15.8 Hz 为 H<sub>2</sub>-7 中 2 个氢之间的  $J_2$  耦合, 5.0 和 10.0 Hz 为 H<sub>2</sub>-7 中 2 个氢分别与 H-8 的  $J_3$  耦合, 5.0 Hz 表明 H-7 $\beta$  和 H-8 处于平伏键-直立键的关系, 10.0 Hz 表明 H-7 $\alpha$  和 H-8 处于直立键-直立键的相对位置(图 2: B)。化合物 **14** 经酸水解后所得苷元部分  $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = -11.0$  ( $c$  0.1, MeOH), 对比化合物(-)-isolariciresinol 的  $[\alpha]_{\text{D}}^{25} = -30.0$  ( $c$  12.0, MeOH)<sup>[15]</sup>, 化合物(+)-isolariciresinol 的  $[\alpha]_{\text{D}}^{25} = +68$  ( $c$  1.0,  $\text{CHCl}_3$ )<sup>[16]</sup>, 表明化合物 **14** 苷元部分的立体构型与(-)-isolariciresinol 一致。因此, 化合物 **14** 的鉴定为(-)-9-acetyl-isolariciresinol 9'-O- $\alpha$ -L-rhamnopyranoside (图 1)。

通过对比核磁共振波谱和质谱数据, 13 个已知化合物分别鉴定为 5-hydroxy-3-methoxy-phenyl-6-O-

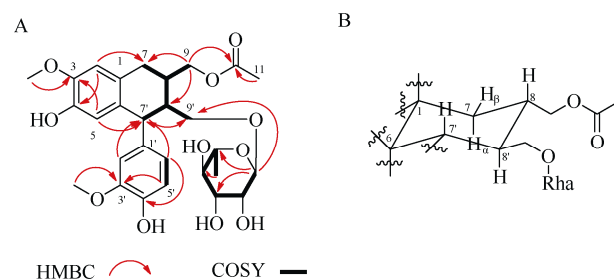
图 2 化合物 **14** 的 COSY 和关键 HMBC (A) 及六元环的椅式构象(B)

Fig. 2 Key  $^1\text{H}$ - $^1\text{H}$  COSY and HMBC (A) with chair conformation of six-membered ring (B) of compound **14**

syringoyl- $\beta$ -D-glucopyranoside (1)<sup>[17]</sup>、高良姜苷 A (2)<sup>[18]</sup>、heterophylloside C<sup>[19]</sup>、6'-O-vanilloyl-lisotachioside (4)<sup>[20]</sup>、3,4,5-trimethoxyphenyl-6-O-syringoyl- $\beta$ -D-glucopyranoside (5)<sup>[21]</sup>、香草醛 (6)<sup>[22]</sup>、丁香醛 (7)<sup>[23]</sup>、3,4-二羟基苯甲醛 (8)<sup>[24]</sup>、齐墩果酸 (9)<sup>[25]</sup>、桦木酸 (10)<sup>[26]</sup>、胡萝卜苷 (11)<sup>[27]</sup>、胡萝卜苷亚油酸酯 (12)<sup>[28]</sup>和(±)-lyoniresinol 2-O- $\alpha$ -rhamnoside (13)<sup>[29]</sup>。

## 参考文献

- [1] Deletis Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Agendae Academiae Sinicae Edita. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 20 [M]. Beijing: Science Press, 1982. [中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第20卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1982.]
- [2] State Administration of Traditional Chinese Medicine. Chinese Materia Medica, Tomus 5 [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishers, 1999: 365. [国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草, 第5卷 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 365.]
- [3] KE J L. Activity of extracts from Casuarinas Barks to scavenge hydroxyl free radicals [J]. Chem Ind For Prod, 2009, 29(4): 97–100. [柯金炼. 木麻黄树皮提取物的清除羟自由基活性 [J]. 林产化学与工业, 2009, 29(4): 97–100. doi: 10.3321/j.issn:0253-2417.2009.04.020.]
- [4] LIU H L, ZHANG Y, ZHENG X L, et al. Research of *in vitro* antibacterial activity of *Casuarina equisetifolia* and *Elephantopus scaber* [J]. J Agric Univ Hebei, 2014, 37(5): 110–113. [刘海隆, 张艳, 郑心力, 等. 木麻黄和地胆草体外抑菌试验研究 [J]. 河北农业大学学报, 2014, 37(5): 110–113. doi: 10.13320/j.cnki.jauh.2014.0123.]
- [5] SHAFIQ Y, NAQVI B S, RIZWANI G H, et al. Anti-acne activity of *Casuarina equisetifolia* bark extract: A randomized clinical trial [J]. Bangladesh J Pharmacol, 2014, 9(3): 337–341. doi: 10.3329/bjp.v9i3.19342.
- [6] EL-TANTAWY W H, MOHAMED S A H, HALEEM E N A A. Evaluation of biochemical effects of *Casuarina equisetifolia* extract on gentamicin-induced nephrotoxicity and oxidative stress in rats: Phytochemical analysis [J]. J Clin Biochem Nutr, 2013, 53(3): 158–165. doi: 10.3164/jcfn.13-19.
- [7] CHEN C M, CHEN I C, CHEN Y L, et al. Medicinal herbs *Oenanthe javanica* (Blume) DC., *Casuarina equisetifolia* L. and *Sorghum bicolor* (L.) Moench protect human cells from MPP<sup>+</sup> damage via inducing *FBXO7* expression [J]. Phytomedicine, 2016, 23(12): 1422–1433. doi: 10.1016/j.phymed.2016.08.004.
- [8] AHER A N, PAL S C, PATIL U K, et al. Evaluation of antihistaminic activity of *Casuarina equisetifolia* frost (Casuarinaceae) [J]. Pharmacologyonline, 2009, 1: 1144–1149.
- [9] JIN Y, XU Y T, HUANG Z W, et al. Metabolite pattern in root nodules of the actinorhizal plant *Casuarina equisetifolia* [J]. Phytochemistry, 2021, 186: 112724. doi: 10.1016/j.phytochem.2021.112724.
- [10] XU X Y, CHEN L R, LUO Y C, et al. Discovery of cyclic diarylheptanoids as inhibitors against influenza A virus from the roots of *Casuarina equisetifolia* [J]. J Nat Prod, 2022, 85(9): 2142–2148. doi: 10.1021/acs.jnatprod.2c00335.
- [11] GOU P, XIAO Y Y, LV L, et al. Hydroquinone and terpene glucosides from *Leontopodium leontopodioides* and their lipase inhibitory activity [J]. Fitoterapia, 2018, 130: 89–93. doi: 10.1016/j.fitote.2018.08.010.
- [12] KIM H J, WOO E R, PARK H. A novel lignan and flavonoids from *Polygonum aviculare* [J]. J Nat Prod, 1994, 57(5): 581–586. doi: 10.1021/np50107a003.
- [13] KITE G C, STONEHAM C A, VEITCH N C. Flavonol tetraglycosides and other constituents from leaves of *Styphnolobium japonicum* (Leguminosae) and related taxa [J]. Phytochemistry, 2007, 68(10): 1407–1416. doi: 10.1016/j.phytochem.2007.03.004.
- [14] ABEYGUNAWARDANA C, BUSH C A, CISAR J O. Complete structure of the polysaccharide from *Streptococcus sanguis* J22 [J]. Biochemistry, 1990, 29(1): 234–248.
- [15] CUTILLO F, D'ABROSCA B, DELLAGRECA M, et al. Lignans and neolignans from *Brassica fruticulosa*: Effects on seed germination and plant growth [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(21): 6165–6172. doi: 10.1021/jf034644c.
- [16] FONSECA S F, DE PAIVA CAMPELLO J, BARATA L E S, et al. <sup>13</sup>C NMR spectral analysis of lignans from *Araucaria angustifolia* [J]. Phytochemistry, 1978, 17(3): 499–502. doi: 10.1016/S0031-9422(00)89347-4.
- [17] KHIEV P, CHIN Y W, CAI X F, et al. A new phenolic glycoside from *Bridelia cambodiana* [J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2010, 53(2): 253–255. doi: 10.3839/jksabc.2010.040.
- [18] AN N, LIN J, YANG S L, et al. A new glycoside from *Alpinia officinarum* [J]. Acta Pharm Sin, 2006, 41(3): 233–235. [安宁, 林佳, 杨世林, 等. 高良姜根茎中的一个新糖苷 [J]. 药学学报, 2006, 41(3): 233–235. doi: 10.3321/j.issn:0513-4870.2006.03.009.]
- [19] LI D X, YIN Y P, LI J, et al. Bibenzyl and phenolic glycosides from *Pterospermum heterophyllum* [J]. Phytochem Lett, 2015, 11: 220–223. doi: 10.1016/j.phytol.2015.01.003.
- [20] YANG X W, WANG J S, MA Y L, et al. Bioactive phenols from the leaves of *Baccaurea ramiflora* [J]. Planta Med, 2007, 73(13): 1415–1417. doi: 10.1055/s-2007-990235.
- [21] PAN H F, LUNDGREN L N. Rhododendrol glycosides and phenyl glucoside esters from inner bark of *Betula pubescens* [J]. Phyto-

- chemistry, 1994, 36(1): 79–83. doi: 10.1016/S0031-9422(00)97017-1.
- [22] ZHOU Y J, WANG J H, XUE Y F, et al. Study on chemical constituents from active ethyl acetate fraction of *Dendrobium officinale* [J]. Chin Trad Herb Drugs, 2021, 52(17): 5218–5225. [周宇娟, 王俊豪, 薛亚甫, 等. 铁皮石斛醋酸乙酯部位化学成分研究 [J]. 中草药, 2021, 52: 5218–5225. doi: 10.7501/j.issn.0253-2670.2021.17.013.]
- [23] YU R, ZHANG Y, ZHENG D D, et al. Isolation and identification of phenolic components from *Penthorum chinense* Pursh [J]. Chin J Med Chem, 2021, 31(3): 203–208. [于芮, 张颖, 郑丹丹, 等. 赶黄草中酚类成分的分离与鉴定 [J]. 中国药物化学杂志, 2021, 31(3): 203–208. doi: 10.14142/j.cnki.cn21-1313/r.2021.03.005.]
- [24] CHEN Y F, LIU S J, WANG F. Sesquiterpenoids of *Coniogramme maxima* [J]. China J Chin Mat Med, 2012, 37(7): 946–950. [陈云飞, 刘守金, 王飞. 阔带凤丫蕨倍半萜类化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2012, 37(7): 946–950. doi: 10.4268/cjcm20120717.]
- [25] SEVINDIK H G, OZGEN U, ATILA A, et al. Phytochemical studies and quantitative HPLC analysis of rosmarinic acid and luteolin 5-*O*- $\beta$ -D-glucopyranoside on *Thymus praecox* subsp. *grossheimii* var. *grossheimii* [J]. Chem Pharm Bull, 2015, 63(9): 720–725. doi: 10.1248/cpb.c14-00877.
- [26] KHALIQ S, VOLK F J, FRAHM A W. Phytochemical investigation of *Perovskia abrotanoides* [J]. Planta Med, 2007, 73(1): 77–83. doi: 10.1055/s-2006-951766.
- [27] FAIZI S, ALI M, SALEEM R, et al. Complete  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR assignments of stigma-5-en-3-*O*- $\beta$ -glucoside and its acetyl derivative [J]. Magn Reson Chem, 2001, 39(7): 399–405. doi: 10.1002/mrc.855.
- [28] LONG Z M, WU L J, JIANG B Y, et al. Chemical constituents from the seeds of *Castanea mollissima* Blume (III) [J]. J Shenyang Pharm Univ, 2008, 25(11): 883–885. [龙志敏, 吴立军, 江冰娅, 等. 板栗种仁的化学成分(III) [J]. 沈阳药科大学学报, 2008, 25(11): 883–885.]
- [29] KANEDA N, KINGHORN A D, FARNSWORTH N R, et al. Two diarylheptanoids and a lignan from *Casuarina junghuhniana* [J]. Phytochemistry, 1990, 29(10): 3366–3368. doi: 10.1016/0031-9422(90)80220-B.