

# 国产人工打洞沉香的化学成分研究

李薇, 梅文莉, 左文健, 蔡彩虹, 董文化, 戴好富\*

(中国热带农业科学院热带生物技术研究所/农业部热带作物生物学与遗传资源利用重点实验室; 海南省沉香工程技术研究中心, 海口 571101)

**摘要:** 为了解国产人工打洞方法所结沉香的化学成分, 从国产人工打洞沉香的乙酸乙酯提取物中分离得到 8 个化合物, 经波谱分析分别鉴定为: 5-羟基-7,4'-二甲氧基黄酮 (1)、3-羟基-4-甲氧基-苯丙酸甲酯 (2)、姜油酮 (3)、对甲氧基苯丙酸 (4)、正三十二烷醇 (5)、(20R)-24-ethylcholest-4-en-3-one (6)、麦角-4,6,8(14),22-四烯-3-酮 (7)、豆甾醇 (8)。化合物 1, 2, 4-8 均为首次从沉香中分离得到的化合物。抗菌活性表明化合物 3 对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)和烟草青枯菌(*Ralstonia solanacearum*)均有抑制作用, 化合物 7 仅对烟草青枯菌具有抑制作用。

**关键词:** 国产沉香; 人工打洞; 化学成分; 抗菌活性

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.03.013

## Chemical Constituents of Chinese Agarwood Induced by Artificial Holing

LI Wei, MEI Wen-li, ZUO Wen-jian, CAI Cai-hong, DONG Wen-hua, DAI Hao-fu\*

(Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Tropical Crops, Ministry of Agriculture, Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences; Hainan Engineering Research Center of Agarwood, Haikou 571101, China)

**Abstract:** In order to understand the chemical constituents of Chinese agarwood induced by artificial holing, eight compounds were isolated from its ethyl acetate extract. On the basis of spectral data, they were identified as 5-hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone (1), benzenepropanoic acid, 3-hydroxy-4-methoxy-methyl ester (2), zingerone (3), *p*-methoxy phenylpropionic acid (4), n-dotriacontanol (5), (20R)-24-ethylcholest-4-en-3-one (6), ergosta-4,6,8(14),22-tetraene-3-one (7), stigmasterol (8). Compounds 1, 2, and 4-8 were isolated from agarwood for the first time. Compound 3 had inhibitory activities against to *Staphylococcus aureus* and *Ralstonia solanacearum*, while compound 7 only to *R. solanacearum*.

**Key words:** Chinese agarwood; Artificial holing; Chemical constituent; Antibacterial activity

沉香为瑞香科(Thymelaeaceae)沉香属(*Aquilaria*)一些植物含有树脂的芯材, 迄今为止, 全世界共有 19 种沉香属植物, 分布于中国、印度、老挝、越南、缅甸、印尼、马来西亚、柬埔寨、菲律宾和巴布亚新几内亚等国家<sup>[1]</sup>。沉香味辛、苦, 性微温, 具有行气止痛、温中止呕、纳气平喘之功效<sup>[2]</sup>。

在我国, 沉香的唯一药源植物为白木香 [*Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg], 健康的白木香树是不产沉香的, 只有受到自然因素(雷劈、火烧、微生物入侵等)或人为因素(砍伤、打洞、接菌等)的作用才能渐渐形成沉香。白木香自然繁殖率很低, 森林资源和生态环境也受到自然灾害和人为破坏, 再加

收稿日期: 2015-07-27 接受日期: 2015-09-14

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费(201303117); 海南省重大专项(ZDZX2013013); 海南省工程技术研究中心建设专项经费(gezx2015005)资助

This work was supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Welfare (Grant No. 201303117), the Major Technology Project of Hainan Province (Grant No. ZDZX2013013), and the Special Fund for Hainan Engineering Research Center (Grant No. gezx2015005).

作者简介: 李薇(1988~), 女, 研究实习员, 从事天然产物化学研究。E-mail: liwei@itbb.org.cn

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: daihaofu@itbb.org.cn

上乱砍滥伐, 其野生资源濒临枯竭, 使得野生沉香资源利用受到很大限制。因此, 近年来, 我国海南和广东地区大力发展白木香种植, 且沉香人工结香技术也得到快速发展<sup>[3]</sup>。目前人工打洞法是较为常见的人工结香方法, 为了研究所得沉香的化学成分, 我们对其乙醇提取物乙酸乙酯部分的化学成分及抗菌活性进行深入研究, 共分离鉴定了8个化合物。本文报道这些化合物的提取、分离和结构鉴定。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

人工打洞沉香样品, 结香4年(图1)。于2012年11月采自云南省, 经中国热带农业科学院热带生物技术研究所代正福副研究员鉴定其基源植物为白木香 [*Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg], 标本编号为 AW20121108, 保存于中国热带农业科学院热带生物技术研究所。

金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) ATCC51650 由海南省药品检验所提供; 烟草青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) 由云南大学生物资源保护与利用重点实验室莫明和教授提供。



图1 打洞沉香样品(编号: AW20121108)

Fig. 1 Agarwood induced by artificial holing (No. AW20121108)

### 1.2 仪器和试剂

Autospec-3000 质谱仪; Brucker AV-500 型超导核磁仪(TMS 为内标); Rudolph Autopol III 旋光仪; CO<sub>2</sub> 培养箱(Sheldon Manufacturing Inc.); 超净工作台(上海博讯实业有限公司医疗设备厂); 柱色谱硅

胶(200~300 目, 60~80 目)和薄层层析硅胶板(GF<sub>254</sub>, 青岛海洋化工厂), Sephadex LH-20 和 RP-18 填料柱(Merck 公司)。四甲基偶氮唑盐(MTT), 硫酸卡那霉素(上海生工有限公司), 其他试剂均为重蒸工业试剂。

### 1.3 提取和分离

将打洞沉香块粉碎得粉末 4.7 kg, 用 95%乙醇加热回流提取 3 次, 每次 10 L。减压回收乙醇至无醇味, 得到乙醇提取物(510.0 g), 将乙醇提取物分散至水中成悬浊液, 依次用乙酸乙酯、正丁醇各萃取 3 次, 分别浓缩得浸膏。

将乙酸乙酯萃取物(310.0 g), 经减压硅胶柱色谱, 以氯仿-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱, 得到 10 个组分(Fr.1~Fr.10)。Fr.1 (109.0 g)和 Fr.2 (34.2 g)在薄层板上显色非常相似, 故将 Fr.1 和 Fr.2 合并为 Fr.1, 再经减压硅胶柱色谱, 同样以氯仿-甲醇(1:0~0:1)梯度洗脱, 得到 6 个亚组分(Fr.1-1~Fr.1-9)。

Fr.1-3 (6.5 g)经 ODS 柱色谱, 以甲醇-水(3:7~10:0)梯度洗脱, 再经 Sephadex LH-20 柱色谱(氯仿-甲醇 1:1), 再经反复正相硅胶柱色谱(石油醚-氯仿 3:7~0:10)得到化合物 1 (4.0 mg)、2 (7.0 mg) 和 8 (21.0 mg)。Fr.1-4 (16.8 g)经 ODS 柱色谱, 以甲醇-水(3:7~10:0)梯度洗脱, 再经 Sephadex LH-20 柱色谱(甲醇), 再经反复正相硅胶柱色谱(纯氯仿)得到化合物 3 (10.0 mg)。Fr.1-6 (4.0 g)经 ODS 柱色谱, 以甲醇-水(1:1~1:4)梯度洗脱, 再经 Sephadex LH-20 柱色谱(氯仿-甲醇 1:1), 再经反复正相硅胶柱色谱(纯氯仿)得到化合物 4 (19.0 mg)。Fr.1-1 (3.8 g)经 ODS 柱色谱, 以甲醇-水(1:1~1:0)梯度洗脱, 再经反复正相硅胶柱色谱(石油醚-氯仿)及 Sephadex LH-20 柱色谱(甲醇)得到化合物 5 (40.0 mg)。Fr.1-2 (4.0 g)经 ODS 柱色谱, 以甲醇-水(1:1~1:0)梯度洗脱, 再经 Sephadex LH-20 柱色谱(氯仿-甲醇 1:1), 再经正相硅胶柱色谱(石油醚-氯仿 7:3~8:2)得到化合物 6 (150.0 mg)和 7 (30.0 mg)。化合物结构见图 2。

### 1.4 抗菌活性测试方法

采用滤纸片琼脂扩散法<sup>[4]</sup>测定化合物 1~8 对 *S. aureus* 和 *R. solanacearum* 的抑制活性。采用牛肉膏蛋白胨(NA)培养基培养, 分别制备菌悬液( $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^7$  cfu mL<sup>-1</sup>), 用棉签均匀涂布于无菌平板上。

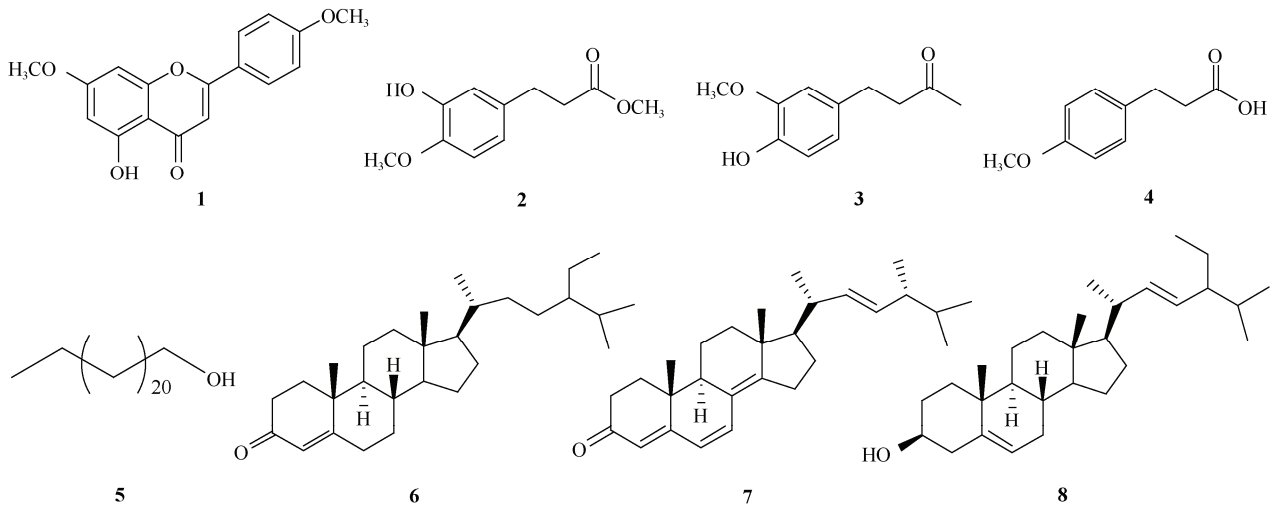


图 2 化合物 1~8 的结构

Fig. 2 Structures of compounds 1-8

**抗 *S. aureus* 活性测试<sup>[5]</sup>** 将单体化合物分别配成  $20.0 \text{ mg mL}^{-1}$  的样品溶液, 取  $25 \mu\text{L}$  于滤纸片上 ( $\Phi=6 \text{ mm}$ ), 待溶剂挥干, 再将滤纸片置于含 *S. aureus* 的平板上。以  $10 \mu\text{L}$  硫酸卡那霉素 ( $0.64 \text{ mg mL}^{-1}$ ) 为阳性对照, 以二甲基亚砜 (Dimethylsulfoxide, DMSO) 为阴性对照, 重复 3 次。37°C 无光恒温培养, 24 h 后观察结果, 用游标卡尺测量抑菌圈直径 (D), 采用 *t* 检验法进行显著性差异评价。

**抗 *R. solanacearum* 活性测试<sup>[5]</sup>** 将单体化合物分别加入 DMSO 配成浓度为  $10.0 \text{ mg mL}^{-1}$  的样品溶液, 取样品溶液  $1.6 \mu\text{L}$ , 以  $0.5 \text{ mg mL}^{-1}$  的硫酸卡那霉素 ( $1.6 \mu\text{L}$ ) 作阳性对照, 以 DMSO 作为阴性对照, 重复 3 次。实验方法和统计同上。

## 2 结果和分析

### 2.1 结构鉴定

**5-羟基-7,4'-二甲氧基黄酮 (5-Hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone, 1)** 黄色针状结晶 ( $\text{CHCl}_3$ );  $\text{C}_{17}\text{H}_{14}\text{O}_5$ ; ESI-MS  $m/z$ : 321  $[\text{M} + \text{Na}]^+$ , 297  $[\text{M} - \text{H}]^-$ ;  $^1\text{H NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz):  $\delta$  7.84 (2H, d,  $J=9.0 \text{ Hz}$ , H-2', H-6'), 7.01 (2H, d,  $J=9.0 \text{ Hz}$ , H-3', H-5'), 6.57 (1H, s, H-3), 6.48 (1H, d,  $J=2.2 \text{ Hz}$ , H-8), 6.36 (1H, d,  $J=2.2 \text{ Hz}$ , H-6), 3.89 (3H, s, 7-OCH<sub>3</sub>), 3.88 (3H, s, 4'-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 125 MHz):  $\delta$  182.5 (C-4), 165.5 (C-7), 164.1 (C-2), 162.6 (C-5), 162.2 (C-4'), 157.7 (C-9), 128.1 (C-2', C-6'), 123.6 (C-1'), 114.6

(C-3'), 114.5 (C-5'), 105.6 (C-10), 104.4 (C-3), 98.1 (C-6), 92.7 (C-8), 55.8 (7-OCH<sub>3</sub>), 55.6 (4'-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与文献[6]报道一致, 鉴定为 5-羟基-7,4'-二甲氧基黄酮。

**3-羟基-4-甲氧基-苯丙酸甲基酯 (Benzene-propanoic acid, 3-hydroxy-4-methoxy-methyl ester, 2)** 无色油状;  $\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ; ESI-MS  $m/z$ : 233  $[\text{M} + \text{Na}]^+$ , 209  $[\text{M} - \text{H}]^-$ ;  $^1\text{H NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz):  $\delta$  6.78 (1H, d,  $J=1.7 \text{ Hz}$ , H-2), 6.76 (1H, d,  $J=8.2 \text{ Hz}$ , H-5), 6.67 (1H, d,  $J=8.2, 1.7 \text{ Hz}$ , H-6), 5.57 (1H, s, 3-OH), 3.86 (3H, s, 4-OCH<sub>3</sub>), 3.67 (3H, s, 9-OCH<sub>3</sub>), 2.86 (2H, t,  $J=7.8 \text{ Hz}$ , H-7a, H-7b), 2.59 (2H, t,  $J=7.8 \text{ Hz}$ , H-8a, H-8b);  $^{13}\text{C NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 125 MHz):  $\delta$  173.6 (C-9), 145.7 (C-3), 145.2 (C-4), 134.0 (C-1), 119.8 (C-6), 114.6 (C-2), 110.9 (C-5), 56.2 (4-OCH<sub>3</sub>), 51.7 (9-OCH<sub>3</sub>), 36.0 (C-8), 30.5 (C-7)。以上数据与文献[7-8]报道一致, 鉴定为 3-羟基-4-甲氧基-苯丙酸甲基酯。

**姜油酮 (Zingerone, 3)** 无色油状;  $\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{O}_3$ ; ESI-MS  $m/z$ : 217  $[\text{M} + \text{Na}]^+$ , 193  $[\text{M} - \text{H}]^-$ ;  $^1\text{H NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz):  $\delta$  6.75 (1H, d,  $J=8.0 \text{ Hz}$ , H-5), 6.74 (1H, d,  $J=2.0 \text{ Hz}$ , H-2), 6.65 (1H, dd,  $J=8.0, 2.0 \text{ Hz}$ , H-6), 3.85 (3H, s, 3-OCH<sub>3</sub>), 2.80 (2H, m, H-7), 2.71 (2H, m, H-8), 2.13 (3H, s, CH<sub>3</sub>CO);  $^{13}\text{C NMR}$  ( $\text{CDCl}_3$ , 125 MHz):  $\delta$  208.3 (C-9), 145.7 (C-4), 145.1 (C-3), 134.4 (C-1), 119.8 (C-6), 114.6 (C-2), 110.8 (C-5), 56.1 (3-OCH<sub>3</sub>), 45.4 (C-8), 30.2 (C-10),

29.3 (C-7)。以上数据与文献[7]报道一致, 鉴定为姜油酮。

**对甲氧基苯丙酸 (*p*-Methoxy phenylpropionic acid, 4)** 白色固体; C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>O<sub>3</sub>; ESI-MS *m/z*: 203 [M + Na]<sup>+</sup>, 179 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>1</sup>H NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz): δ 7.13 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-2, H-6), 6.84 (2H, d, *J* = 8.6 Hz, H-3, H-5), 3.78 (3H, s, 4-OCH<sub>3</sub>), 2.90 (2H, t, *J* = 7.8 Hz, H-7), 2.64 (2H, t, *J* = 7.8 Hz, H-8); <sup>13</sup>C NMR (CDCl<sub>3</sub>, 125MHz): δ 178.8 (C-9), 158.2 (C-4), 132.4 (C-1), 129.3 (C-2, C-6), 114.0 (C-3, C-5), 55.4 (4-OCH<sub>3</sub>), 36.0 (C-8), 29.9 (C-7)。以上数据与文献[9]报道一致, 鉴定为对甲氧基苯丙酸。

**正三十二烷醇 (*n*-Dotriacontanol, 5)** 白色固体; C<sub>23</sub>H<sub>48</sub>O; ESI-MS *m/z*: 363 [M + Na]<sup>+</sup>, 339 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>1</sup>H NMR (CDCl<sub>3</sub>, 500 MHz): δ 3.63 (2H, t, *J* = 6.7 Hz, H-1), 1.56 (2H, m, H-2), 1.25 (40H, s, H-3~22), 0.87 (3H, t, *J* = 6.9 Hz, H-23); <sup>13</sup>C NMR (CDCl<sub>3</sub>, 125MHz): δ 63.2 (C-1), 33.0 (C-2), 32.1 (C-21), 29.9 (C-4~20), 25.9 (C-3), 22.8 (C-22), 14.3 (C-23)。由以上数据与文献[10]报道一致, 鉴定为正三十二烷醇。

**(20*R*)-24-Ethylcholest-4-en-3-one (6)** 白色晶体(CHCl<sub>3</sub>); C<sub>29</sub>H<sub>48</sub>O; ESI-MS *m/z*: 435 [M + Na]<sup>+</sup>, 411 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>13</sup>C NMR (CDCl<sub>3</sub>, 125MHz): δ 199.9 (C-3), 172.0 (C-5), 123.9 (C-4), 56.1 (C-14), 56.0 (C-17), 53.9 (C-9), 45.9 (C-24), 42.5 (C-13), 39.7 (C-12), 38.7 (C-10), 36.2 (C-8), 35.8 (C-1), 35.7 (C-20), 34.1 (C-6), 34.0 (C-2), 33.1 (C-7), 32.2 (C-22), 29.2 (C-25), 28.3 (C-16), 26.1 (C-28), 24.3 (C-15), 23.2 (C-23), 21.1 (C-11), 20.0 (C-27), 19.1 (C-21), 18.8 (C-26), 17.5 (C-19), 12.1 (C-18, C-29)。以上数据与文献[11]报道一致, 鉴定为(20*R*)-24-ethylcholest-4-en-3-one。

**麦角-4,6,8(14),22-四烯-3-酮 [Ergosta-4,6,8(14), 22-tetraene-3-one, 7]** 白色晶体(CHCl<sub>3</sub>); C<sub>28</sub>H<sub>40</sub>O;

ESI-MS *m/z*: 415 [M + Na]<sup>+</sup>, 391 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>13</sup>C NMR (CDCl<sub>3</sub>, 125MHz): δ 199.7 (C-3), 164.6 (C-5), 135.1 (C-22), 134.2 (C-7), 132.7 (C-23), 124.6 (C-6), 124.5 (C-8), 123.1 (C-4), 55.8 (C-17), 44.4 (C-9), 44.1 (C-13), 43.0 (C-24), 39.4 (C-20), 36.9 (C-10), 35.7 (C-15), 34.3 (C-1), 34.2 (C-12), 33.2 (C-25), 27.9 (C-16), 25.5 (C-11), 21.4 (C-21), 19.8 (C-26, C-27), 19.1 (C-2, C-18), 17.8 (C-28), 16.8 (C-19)。以上数据与文献[12]报道一致, 鉴定为麦角-4,6,8(14),22-四烯-3-酮。

**豆甾醇 (Stigmasterol, 8)** 白色固体; C<sub>29</sub>H<sub>48</sub>O; ESI-MS *m/z*: 435 [M + Na]<sup>+</sup>, 411 [M - H]<sup>-</sup>; <sup>13</sup>C NMR (CDCl<sub>3</sub>, 125MHz): δ 140.9 (C-5), 138.5 (C-22), 129.4 (C-23), 121.9 (C-6), 71.9 (C-3), 57.0 (C-14), 56.1 (C-17), 51.4 (C-24), 50.3 (C-9), 42.4 (C-4), 42.3 (C-13), 40.7 (C-20), 39.8 (C-12), 37.4 (C-1), 36.6 (C-10), 32.0 (C-8, C-25), 31.8 (C-7), 29.9 (C-2), 29.1 (C-16), 24.5 (C-15), 21.2 (C-11, C-28), 21.4 (C-21), 19.5 (C-19), 19.2 (C-26), 19.1 (C-29), 12.4 (C-27), 12.2 (C-18)。以上数据与文献[13]报道一致, 鉴定为豆甾醇。

### 2.3 抗菌活性

用滤纸片琼脂扩散法测定化合物 1~8 的抗菌活性, 结果表明, 化合物 3 对金黄色葡萄球菌和烟草青枯病菌有抑制作用; 化合物 7 仅对烟草青枯病菌有抑制作用(表 1), 经 *t* 检验, 他们与对照的差异达极显著水平(*P*<0.01)。

## 3 讨论

本研究组前期报道了国产人工打洞沉香的化学成分主要是倍半萜和 2-(2-苯乙基)色酮类化合物<sup>[14-15]</sup>, 本次研究对人工打洞沉香进行进一步研究, 从中分离

表 1 化合物 3 和 7 对金黄色葡萄球菌及烟草青枯病菌的抑制作用

Table 1 Antibacterial activities of compounds 3 and 7 against *Staphylococcus aureus* and *Ralstonia solanacearum*

化合物 Compound	抑菌直径 Inhibition diameter (mm)	
	金黄色葡萄球菌 <i>S. aureus</i>	烟草青枯病菌 <i>R. Solanacearum</i>
3	11.20±0.10*	7.82±0.09*
7	-	8.02±0.09*
DMSO	6.00±0.01	6.00±0.01
硫酸卡那霉素 Kanamycin sulfate	21.80±0.21	32.98±0.25

\*: *P*<0.01.

鉴定出 8 个化合物, 其中包括 1 个黄酮类化合物 5-羟基-7,4'-二甲氧基黄酮 (1), 3 个挥发性芳香化合物: 3-羟基-4-甲氧基-苯丙酸甲基酯 (2)、姜油酮 (3)、对甲氧基苯丙酸 (4), 1 个其它化合物正三十二烷醇 (5) 和 3 个甾体类化合物: (20R)-24-ethylcholest-4-en-3-one (6)、麦角-4,6,8(14), 22-四烯-3-酮 (7)、豆甾醇 (8)。通过抗菌活性筛选, 结果显示化合物 3 对金黄色葡萄球菌和烟草青枯病菌的生长有抑制作用; 化合物 7 对烟草青枯病菌的生长有抑制作用。

我们前期对未结香的白木香树干进行了化学成分研究, 结果表明黄酮类化合物在白木香树干部位分布广泛, 且 5-羟基-7,4'-二甲氧基黄酮 (1) 是白木香树干中的主要黄酮类成分之一<sup>[6,16]</sup>。本研究在打洞沉香中仅分离得到 7 mg 化合物 1, 目前在沉香中还未见其分离得到的报道, 因此推测其可能是样品中残留的白木香化学成分。据文献报道, 沉香和白木香中均有芳香族类化合物存在, 其中姜油酮 (3) 则是沉香中已经报道的成分<sup>[1]</sup>; 此外, 甾体类化合物在白木香植物的树干、叶子、果实等部位均有分布, 且豆甾醇 (8) 在白木香中也有报道<sup>[16-17]</sup>; 同时, 正三十二烷醇 (5) 也曾从白木香中分离得到<sup>[16,18]</sup>。因此, 人工打洞沉香与野生沉香在化学成分上还是存在一定的差别。本研究结果丰富了沉香的化学成分和生物活性, 为人工结香所得沉香的开发利用及沉香人工结香方法的进一步优化提供了科学依据。

## 参考文献

- [1] NAEF R. The volatile and semi-volatile constituents of agarwood, the infected heartwood of *Aquilaria* species: A review [J]. *Flavour Fragr J*, 2011, 26(2): 73–87. doi: 10.1002/ffj.2034.
- [2] The State Pharmacopoeia Committee. Chinese Pharmacopoeia, Part 1 [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 1–128.  
国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1–128.
- [3] MEI W L, ZUO W J, YANG D L, et al. Advances in the mechanism, artificial agarwood-induction techniques and chemical constituents of artificial agarwood production [J]. *Chin J Trop Crops*, 2013, 34(12): 2513–2520. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2013.12.039.  
梅文莉, 左文健, 杨德兰, 等. 沉香结香机理、人工结香及其化学成分研究进展 [J]. *热带作物学报*, 2013, 34(12): 2513–2520. doi: 10.3969/j.issn.1000-2561.2013.12.039.
- [4] CUI H B, MEI W L, HAN Z, et al. Antibacterial metabolites from the fermentation broth of marine fungus 095407 [J]. *Chin J Med Chem*, 2008, 18(2): 131–134. doi: 10.3969/j.issn.1005-0108.2008.02.013.  
崔海滨, 梅文莉, 韩壮, 等. 海洋真菌 095407 的抗菌活性代谢产物的研究 [J]. *中国药物化学杂志*, 2008, 18(2): 131–134. doi: 10.3969/j.issn.1005-0108.2008.02.013.
- [5] WANG B, MEI W L, ZUO W J, et al. Antibacterial activity components from *Elephantopus tomentosus* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2012, 20(4): 413–417. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.016.  
王蓓, 梅文莉, 左文健, 等. 白花地胆草的抗菌活性成分研究 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2012, 20(4): 413–417. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.016.
- [6] PENG K, MEI W L, WU J, et al. Flavones from the stem of *Aquilaria sinensis* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2010, 18(1): 97–100. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.01.018.  
彭可, 梅文莉, 吴娇, 等. 白木香树干中的黄酮类成分 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(1): 97–100. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.01.018.
- [7] SANZ J F, BARBERA O, MARCO J A. Sesquiterpene lactones from *Artemisia hispanica* [J]. *Phytochemistry*, 1989, 28(8): 2163–2167. doi: 10.1016/S0031-9422(00)97936-6.
- [8] WANG X L, CHEN M H, WANG F, et al. Chemical constituents from root of *Isatis indigotica* [J]. *China J Chin Mat Med*, 2013, 38(8): 1172–1182. doi: 10.4268/cjcm20130812.  
王晓良, 陈明华, 王芳, 等. 板蓝根水提取物的化学成分研究 [J]. *中国中药杂志*, 2013, 38(8): 1172–1182. doi: 10.4268/cjcm20130812.
- [9] LI H, YANG M H, SI J Y, et al. Chemical constituents from roots of *Flemingia philippinensis* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2009, 40(4): 512–516.  
李华, 杨美华, 斯建勇, 等. 千斤拔化学成分研究 [J]. *中草药*, 2009, 40(4): 512–516.
- [10] WU B. Study on the chemical constituents in *Petasites hybridus* L. and *Apium graveolens* L. [D]. Shenyang: Shenyang Pharm Univ, 2007: 38–39.  
毋冰. 蜂斗菜 *Petasites hybridus* L. 和旱芹 *Apium graveolens* L. 的化学成分研究 [D]. 沈阳: 沈阳药科大学, 2007: 38–39.
- [11] WANG X L, HAY A E, MATHEEUSSEN A, et al. Structure elucidation and NMR assignments of two new triterpenoids from the stems of *Paragonia pyramidata* (Bignoniaceae) [J]. *Magn Reson Chem*, 2011, 49(4): 184–189. doi: 10.1002/mrc.2726.
- [12] XIONG Y, DENG K Z, GAO W Y, et al. Studies on chemical constituents of *Ranunculus ternatus* [J]. *China J Chin Mat Med*, 2008, 33(8): 909–911. doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2008.08.011.  
熊英, 邓可众, 高文远, 等. 中药猫爪草化学成分的研究 [J]. *中国*

- 中药杂志, 2008, 33(8): 909-911. doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2008.08.011.
- [13] WANG Y E, SI J Y, LI X J, et al. Chemical constituents from the seeds of *Ferula Sinkiangensis* [J]. *Mod Chin Med*, 2011, 13(1): 26-28.  
王月娥, 斯建勇, 李晓瑾, 等. 新疆阿魏种子化学成分的研究(I) [J]. *中国现代中药*, 2011, 13(1): 26-28.
- [14] LI W, CAI C H, GUO Z K, et al. Five new eudesmane-type sesquiterpenoids from Chinese agarwood induced by artificial holing [J]. *Fitoterapia*, 2015, 100: 44-49. doi: 10.1016/j.fitote.2014.11.010.
- [15] LI W, CAI C H, DONG W H, et al. 2-(2-Phenylethyl)chromone derivatives from Chinese agarwood induced by artificial holing [J]. *Fitoterapia*, 2014, 98: 117-123. doi: 10.1016/j.fitote.2014.07.011.
- [16] LI W, MEI W L, ZUO W J, et al. Advances in chemical constituents and biological activities from *Aquilaria sinensis* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2014, 22(2): 201-212. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2014.02.015.  
李薇, 梅文莉, 左文健, 等. 白木香的化学成分与生物活性研究进展 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2014, 22(2): 201-212. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2014.02.015.
- [17] NIE C X, SONG Y L, CHEN D, et al. Studies on chemical constituents of leaves of *Aquilaria sinensis* [J]. *China J Chin Mat Med*, 2009, 34(7): 858-860.  
聂春晓, 宋月林, 陈东, 等. 白木香叶化学成分的研究 [J]. *中国中药杂志*, 2009, 34(7): 858-860.
- [18] FENG J, YANG X W. Liposolubility constituents from leaves of *Aquilaria sinensis* [J]. *China J Chin Mat Med*, 2011, 36(15): 2092-2095. doi: 10.4268/cjcm20111517.  
冯洁, 杨秀伟. 白木香叶脂溶性化学成分研究 [J]. *中国中药杂志*, 2011, 36(15): 2092-2095. doi: 10.4268/cjcm20111517.