

# 一株红树林真菌 *Alternaria* sp. R6 固相培养代谢产物研究\*

陈敏<sup>1</sup>, 周丹丽<sup>2</sup>, 祝钧杰<sup>2</sup>, 冯子昊<sup>2</sup>, 邱远昆<sup>2</sup>, 佘志刚<sup>3</sup>, 李春远<sup>2</sup>

(1. 华南农业大学公共基础课实验教学中心, 广东 广州 510642;

2. 华南农业大学材料与能源学院, 广东 广州 510642;

3. 中山大学化学与化学工程学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 研究红树林真菌 *Alternaria* sp. R6 固相培养代谢产物, 用硅胶和 Sephadex LH-20 柱层析手段从甲醇提取物分离单体, 波谱技术鉴定结构, 二倍稀释法测试抗菌活性。分离到 (4*R*, 5*R*) -4, 5-二羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮 (1), (4*R*, 5*S*, 6*R*) -4, 5, 6-三羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮 (2), xylariacyclone B (3), (4*S*, 5*S*, 6*S*) -5, 6-环氧-4-羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮 (4), LL-C10037 $\alpha$  (5), 1-羟基-8-(羟甲基)-6-甲氧基-3-甲基-9*H*-咕吨-9-酮 (6), 6-甲基-1-甲氧羰基-8-羟基咕吨-9-酮 (7), 6-羧基-1-甲氧羰基-2, 8-二羟基咕吨-9-酮 (8), 麦角甾醇和过氧化麦角甾醇共 10 个化合物。化合物 1, 2, 3, 4, 5, 6 和 8 为首次从 *Alternaria* 属分离到。化合物 6 和 8 对小麦赤霉、香蕉炭疽, 化合物 2 对香蕉炭疽显示良好抗菌活性。

**关键词:** 红树林内生真菌; *Alternaria* sp.; 咕吨酮; 环己烯酮; 抗真菌活性

中图分类号: 0629.9 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579 (2016) 03-0117-05

## Study on the metabolites by solid fermentation from the mangrove endophytic fungus *Alternaria* sp. R6

CHEN Min<sup>1</sup>, ZHOU Danli<sup>2</sup>, ZHU Junjie<sup>2</sup>, FENG Zihao<sup>2</sup>, QIU Yuankun<sup>2</sup>, SHE Zhigang<sup>3</sup>, LI Chunyuan<sup>2</sup>

(1. Center of Experimental Teaching for Basic Courses, South China Agricultural  
University Guangzhou 510642, China;

2. College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** To study the metabolites of the mangrove fungus *Alternaria* sp. R6, the compounds were isolated by silica gel and Sephadex LH-20 column chromatography. Their structures were characterized by spectroscopy. The antifungal activities were investigated using the broth tube dilution method. Ten compounds, including (4*R*, 5*R*) -4, 5-dihydroxy-3-methoxy-5-methyl-cyclohex-2-en-1-one (1), (4*R*, 5*S*, 6*R*) -4, 5, 6-trihydroxy-3-methoxy-5-methyl-cyclohex-2-en-1-one (2), xylariacyclone B (3), (4*S*, 5*S*, 6*S*) -5, 6-epoxy-4-hydroxy-3-methoxy-5-methyl-cyclohex-2-en-1-one (4), LL-C10037 $\alpha$  (5), 1-hydroxy-8-(hydroxymethyl)-6-methoxy-3-methyl-9*H*-xanthen-9-one (6), 8-hydroxy-6-methyl-1-methoxy-

\* 收稿日期: 2016-01-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (21102049, 41276146); 广东省自然科学基金资助项目 (2015A030313405, 9151027501000055); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目 ([2015] 311); 广州市科技计划资助项目 (11C12100771)

作者简介: 陈敏 (1967年生), 女; 研究方向: 化学生态学; 通讯作者: 李春远, 佘志刚; E-mail: chunyuan-li@163.com

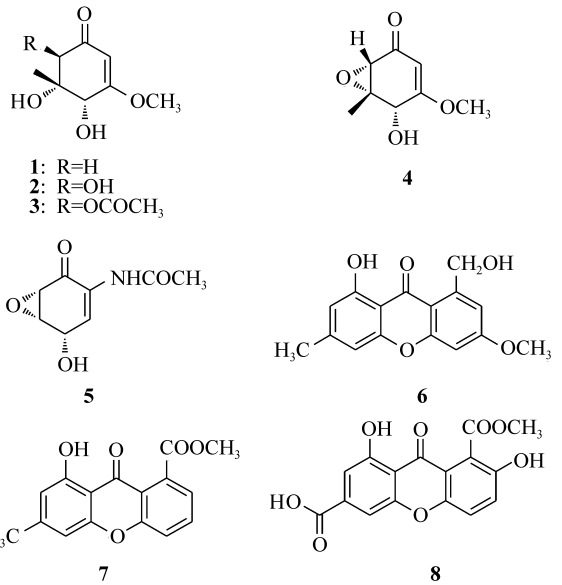
carbonyl-xanthen-9-one (7), 8-dimethoxy-1, 6-dimethoxycarbonyl-xanthen-9-one (8), ergosterol and ergosterolperoxide, were isolated from the methanol extracts. Among them, the compounds 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 8 were obtained from *Alternaria* sp. for the first time. The compounds 6 and 8 showed good inhibitory activity against *Fusarium graminearum* Schw. and *Colletotrichum musae* (Berk. & M. A. Curtis) Arx. While the compound 2 only showed good inhibitory activity against the latter.

**Key words:** mangrove endophytic fungi; *Alternaria* sp.; xanthone; cyclohexenone; antifungal activity

海洋红树林微生物已成为寻找新药先导物的重要资源<sup>[1-3]</sup>。*Alternaria* sp. 分布广泛, 属于子囊菌亚门, 其某些种是引起作物腐败的植物病原菌<sup>[4]</sup>。内生真菌 *Alternaria* sp. R6 采集自湛江沿海半红树植物苦槛蓝根部, 在液体培养时不显示抗菌活性<sup>[5]</sup>, 我们从中分离到了具有抗肿瘤活性的二苯乙烯新化合物<sup>[6]</sup>。该菌在固体大米培养时对多种植物病原菌显示较强抗菌作用, 我们又获得了多个有抗菌及抗氧化活性的新化合物<sup>[7]</sup>。本文继续研究该菌固相培养代谢产物, 共分离鉴定了 10 种化合物, 分别为 (4*R*, 5*R*)-4, 5-二羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮 (1), (4*R*, 5*S*, 6*R*)-4, 5, 6-三羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮 (2), xylariacyclone B (3), (4*S*, 5*S*, 6*S*)-5, 6-环氧-4-羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮 (4), LL-C10037 $\alpha$  (5), 1-羟基-8-(羟甲基)-6-甲氧基-3-甲基-9*H*-咕吨-9-酮 (6), 6-甲基-1-甲氧羰基-8-羟基咕吨-9-酮 (7), 6-羧基-1-甲氧羰基-2, 8-二羟基咕吨-9-酮 (8), 麦角甾醇和过氧化麦角甾醇, 其中化合物 1, 2, 3, 4, 5, 6 和 8 为首次从 *Alternaria* 属真菌中分离到。活性测试表明, 化合物 6 和 8 对香蕉炭疽 *Colletotrichum musae* (Berk. & M. A. Curtis) Arx 和小麦赤霉 *Fusarium graminearum* Schw., 化合物 2 对香蕉炭疽显示良好抗菌活性。

## 1 结果与讨论

化合物 1 的 <sup>1</sup>H NMR 显示 1 个甲基  $\delta$  1.23 (3H, s), 1 个 CH<sub>2</sub>  $\delta$  2.53 (1H, d, 16.0 Hz), 2.59 (1H, d, 16.0 Hz), 1 个甲氧基 3.69 (3H, s), 1 个双键 5.20 (1H, s), 2 个羟基 (滴加重水后消失) 3.71 (1H, br s), 4.77 (1H, d, 5.4 Hz) 及 1 个与羟基 4.77 (1H, d, 5.4 Hz) 相连的 CH 信号 4.08 (1H, d, 5.4 Hz)。<sup>13</sup>C NMR 显示 8 个碳, 其中  $\delta$  196.8 为羰基信号, 102.4 为双键碳, 因此另一个双键碳化学位移为 176.3, 鉴于其数值偏高, 判断该双键与羰基共轭, 且  $\delta$  176.3 的双键



碳与甲氧基相连。剩余的碳根据化学位移值判断  $\delta$  74.3, 72.8 的碳均连有羟基, 57.0, 49.3, 26.3 则分别为甲氧基, 亚甲基和甲基碳的信号。进一步结合 EIMS  $m/z$ : 172 [M]<sup>+</sup> 给出的相对分子质量, 确定化合物分子式为 C<sub>8</sub>H<sub>12</sub>O<sub>4</sub>, 除去双键和羰基的不饱和度, 表明化合物 1 是取代有上述基团的环己-2-烯-1-酮衍生物。在此基础上与文献 [8] 对照波谱数据及比旋光度数值基本一致, 鉴定化合物 1 为 (4*R*, 5*R*)-4, 5-二羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮。

化合物 2 的 EIMS 显示其相对分子质量比化合物 1 多 16, 两者的 <sup>1</sup>H NMR 和 <sup>13</sup>C NMR 谱类似, 表明具有类似的分子骨架, 仔细对比二者核磁数据, 发现与化合物 1 相比, 化合物 2 的 <sup>1</sup>H NMR 中多出  $\delta$  4.43 (1H, m) 的连羟基 CH 信号, 且多出 1 个羟基信号, 同时没有了 CH<sub>2</sub> 上两个 H 的信号, 表明化合物 2 是在化合物 1 的亚甲基位置取代了 1 个羟基的衍生物。在此基础上与文献 [8] 波谱数据和比旋光度对照基本一致, 鉴定为 (4*R*, 5*S*, 6*R*)-4, 5, 6-三羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮。

化合物 3 的核磁共振谱与化合物 2 类似, 其 <sup>1</sup>H NMR 在化学位移 2.27 (3H, s) 多出了 1 个甲基,

同时少了1个羟基信号。 $^{13}\text{C}$  NMR谱在 $\delta$  171.2处多出了1个酯碳基信号,进一步结合ESIMS  $m/z$ : 231  $[\text{M} + \text{H}]^+$ 给出的相对分子质量,表明化合物**3**是化合物**2**中的1个羟基发生了乙酰化后的产物,在此基础上与文献[9]对照波谱数据及比旋光度数值基本一致,鉴定为xylariacyclone B。

化合物**4**的核磁共振谱与化合物**2**类似,仔细对比化合物**4**和**2**的 $^1\text{H}$  NMR,发现化合物**4**比化合物**2**少了2个羟基,其EIMS  $m/z$ : 170  $[\text{M}]^+$ 与化合物**2**少了18,同时其 $^{13}\text{C}$  NMR与化合物**2**比变化不大,因此化合物**4**可能是化合物**2**中两个羟基脱去1分子水形成的衍生物,在此基础上与文献[8]波谱数据和比旋光度数据对照基本一致,化合物**4**鉴定为(4*S*, 5*S*, 6*S*) -5, 6-环氧-4-羟基-3-甲氧基-5-甲基-环己-2-烯-1-酮。

化合物**5**的核磁共振谱与化合物**4**类似,与化合物**4**相比,其 $^1\text{H}$  NMR没有了甲氧基和 $\delta$  1.52附近的甲基信号,同时出现了 $\delta$  2.04 (3H, s)的甲基和9.04 (1H, br s)的酰胺活泼H信号,因此化合物**5**可能是化合物**4**去掉甲基和甲氧基,并多取代上1个乙酰胺基的衍生物。在此基础上与文献[10, 11]对照波谱数据及比旋光度基本一致,化合物**5**鉴定为LL-C10037 $\alpha$ 。

化合物**6**的HRESI-MS  $m/z$ : 286.0838  $[\text{M}]^+$ 显示分子式为 $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_5$ ,  $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  6.62 (1H, d, 1.8 Hz)和6.70 (1H, d, 1.8 Hz), 6.80 (1H, d, 2.4 Hz)和6.89 (1H, d, 2.4 Hz)分别为两组互为间位的芳香H,表明分子中有两个苯环。 $^{13}\text{C}$  NMR中 $\delta$  183.0是与两个苯环共轭的羰基。分子中剩余的不饱和度表明化合物除了两个苯环外还应有一个环状结构,由此推断化合物**6**可能具有咕吨-9-酮的骨架。 $^1\text{H}$  NMR中 $\delta$  2.43 (3H, s)和3.94 (3H, s), 4.93 (2H, s)表明苯环上取代有甲基,甲氧基,羟甲基,12.63 (1H, s)的高尖峰是与羰基形成分子内氢键的羟基信号,上述推断与化合物分子式相符合。在此基础上进一步与文献[12]波谱数据对照基本一致,化合物**6**鉴定为1-羟基-8-(羟甲基)-6-甲氧基-3-甲基-9H-咕吨-9-酮。

化合物**7**的 $^1\text{H}$  NMR和 $^{13}\text{C}$  NMR显示与化合物**6**类似的特征,表明同样具有咕吨-9-酮的骨架。 $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  7.74 (1H, t, 8.4, 7.2 Hz), 7.53 (1H, d, 8.4, 1.2 Hz), 7.31 (1H, d, 7.2, 1.2 Hz)是苯环上互为邻位的3个H, 6.76 (1H, d,

1.2 Hz), 6.64 (1H, d, 1.2 Hz)是另一个苯环的两个互为间位的H, 12.15 (1H, s)是与羰基形成分子内氢键的羟基, 4.03 (3H, s)和2.44 (3H, s)分别是甲氧基和甲基。由于 $^{13}\text{C}$  NMR存在 $\delta$  169.6的酯羰基信号,因此上述甲氧基是取代在苯环上的甲氧羰基的一部分。在此基础上进一步与文献[13]波谱数据对照基本一致,化合物**7**鉴定为6-甲基-1-甲氧羰基-8-羟基咕吨-9-酮。

化合物**8**的 $^1\text{H}$  NMR和 $^{13}\text{C}$  NMR与化合物**6**对比,表明同样具有咕吨-9-酮的骨架。 $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  7.67 (1H, d, 9.0 Hz), 7.53 (1H, d, 9.0 Hz)是苯环上互为邻位的H, 7.48 (1H, d, 1.2 Hz), 7.20 (1H, d, 1.2 Hz)是另一个苯环上互为间位的H,  $\delta$  12.21 (1H, s)是与羰基形成分子内氢键的羟基, $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  3.86 (3H, s)结合 $^{13}\text{C}$  NMR  $\delta$  166.6表明分子中有1个甲氧羰基, $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  10.71 (1H, s)结合 $^{13}\text{C}$  NMR  $\delta$  165.8表明分子中存在1个羧基,剩余的相对分子质量表明分子中还有1个羟基。在此基础上进一步与文献[14]波谱数据比较基本一致,化合物**8**鉴定为6-羧基-1-甲氧羰基-2, 8-二羟基咕吨-9-酮。

化合物**9**, **10**与实验室标准品对照核磁共振谱及硅胶薄层 $t_R$ 值基本一致,分别鉴定为麦角甾醇和过氧麦角甾醇。

采用文献[7]报道的二倍稀释法测试化合物**1**, **2**, **3**, **4**, **5**, **6**, **7**, **8**对小麦赤霉、香蕉炭疽的抗菌活性,以三唑酮为阳性对照(MIC 150  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ),结果有3个化合物活性良好,包括化合物**6**对两菌MIC为150  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,化合物**8**对两菌MIC分别为200和150  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,化合物**2**对香蕉炭疽MIC为200  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,因此推断它们是菌株显示抗植物病原真菌活性的重要原因,有必要作为抗真菌先导物开展深入研究。其余活性测试结果均为MIC > 400  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

## 2 实验部分

### 2.1 试剂与实验仪器

AV 600核磁共振波谱仪(Bruker Biospin AG), MDS SCIEX APCI 2000液质联用仪, Horiba SEPA-300旋光仪。GF254薄层层析硅胶、200~300目柱层析硅胶(青岛海洋化工公司), Sephadex LH-20凝胶(GE Healthcare),其他常规试剂均为分析纯。

## 2.2 菌种及细胞

真菌 *Alternaria* sp. R6 采集自广东湛江红树林的植物苦槛蓝的根部, 通过与文献 *Alternaria* 属进行形态特征对比得到鉴定<sup>[15]</sup>, 植物病原菌小麦赤霉和香蕉炭疽菌引种自华南农业大学农学院, 保藏于华南农业大学材料与能源学院 (原理学院)。

## 2.3 菌种发酵培养

采用大米培养基 (1 000 mL 三角烧瓶, 每瓶含大米 80 g, 人工海水 100 mL) 静置固相培养 30 d, 共培养 70 瓶。

## 2.4 分离

将培养物用甲醇浸泡 3 次, 减压浓缩, 水相再用乙酸乙酯和正丁醇分别萃取 3 次, 50 °C 下减压浓缩得到总浸膏 53 g。提取物经正相硅胶柱层析, 以石油醚-乙酸乙酯-甲醇梯度淋洗分段, 再经反复硅胶柱层析, Sephadex LH-20 凝胶色谱和重结晶纯化后得到化合物 **1** (5 mg), **2** (6 mg), **3** (5 mg), **4** (4 mg), **5** (3 mg), **6** (4 mg), **7** (3 mg), **8** (6 mg), **9** (60 mg), **10** (20 mg)。

## 2.5 抗真菌活性测试

采用文献[7]报道的二倍稀释法测试化合物 **1**, **2**, **3**, **4**, **5**, **6**, **7**, **8** 对小麦赤霉、香蕉炭疽的抗菌活性, 记录结果时间为 28 °C 下小麦赤霉菌培养 24 h, 香蕉炭疽菌培养 48 h, 用三唑酮作为抗真菌的阳性对照, 无菌生长的样品浓度即为最小抑菌浓度 (MIC) 值。

## 2.6 化合物的物理和波谱数据

化合物 **1**:  $C_8H_{12}O_4$ , 无色膏状物,  $[\alpha]_D^{20} + 53^\circ$  ( $c$  0.15, EtOH), MS (EI)  $m/z$ : 172  $[M]^+$ ;  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 1.23 (3H, s), 2.53 (1H, d, 16.0 Hz), 2.59 (1H, d, 16.0 Hz), 3.69 (3H, s), 3.71 (1H, br s), 4.08 (1H, d, 5.4 Hz), 4.77 (1H, d, 5.4 Hz), 5.20 (1H, s);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 96.8, 176.3, 102.4, 74.3, 72.8, 57.0, 49.3, 26.3。

化合物 **2**:  $C_8H_{12}O_5$ , 无色膏状物,  $[\alpha]_D^{20} + 109^\circ$  ( $c$  0.25, EtOH), MS (EI)  $m/z$ : 188  $[M]^+$ ;  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 1.27 (3H, s), 3.75 (3H, s), 4.11 (1H, d, 5.4 Hz), 4.43 (1H, s), 4.45 (2H, br s), 5.05 (1H, br s), 5.31 (1H, s);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 190.7, 175.9, 100.7, 75.6, 73.9, 67.5, 57.6, 21.8。

化合物 **3**:  $C_{10}H_{14}O_6$ , 无色膏状物,  $[\alpha]_D^{25} + 24^\circ$  ( $c$  0.1, EtOH), MS (ESI pos)  $m/z$ : 231  $[M + H]^+$ ;  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CD_3COCD_3$ ):  $\delta$  1.28 (3H, s), 2.27 (3H, s), 3.78 (3H, s), 4.16 (1H, s),

5.42 (1H, s), 5.71 (1H, s);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 190.8, 173.1, 171.2, 101.3, 76.3, 75.0, 73.5, 56.7, 20.8, 19.4。

化合物 **4**:  $C_8H_{10}O_4$ , 无色针状晶体,  $[\alpha]_D^{25} - 100^\circ$  ( $c$  0.25, EtOH), MS (EI)  $m/z$ : 170  $[M]^+$ ;  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 1.52 (3H, s), 3.12 (1H, d, 2.0 Hz), 3.68 (3H, s), 4.54 (1H, d, 6.4 Hz), 4.87 (1H, d, 6.4 Hz), 5.12 (1H, d, 2.0 Hz);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 194.4, 174.5, 98.8, 69.7, 61.4, 60.8, 57.3, 19.7。

化合物 **5**:  $C_8H_9NO_4$ , 无色针状晶体,  $[\alpha]_D^{25} - 203^\circ$  ( $c$  0.25, EtOH), MS (EI)  $m/z$ : 170  $[M]^+$ ;  $^1H$  NMR (600 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 2.04 (3H, s), 3.55 (1H, d, 4.2 Hz), 3.78 (1H, d, 4.2 Hz), 4.81 (1H, dd, 6.4, 2.8 Hz), 5.79 (1H, d, 6.4 Hz), 7.06 (1H, d, 2.8 Hz), 9.04 (1H, br s);  $^{13}C$  NMR (150 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 189.8, 169.7, 128.5, 128.3, 63.4, 53.8, 52.5, 23.8。

化合物 **6**:  $C_{16}H_{14}O_5$ , 黄色粉末, HRESI-MS  $m/z$ : 286.0838  $[M]^+$  (计算值为 286.0841);  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 2.43 (3H, s), 3.94 (3H, s), 4.93 (2H, s), 6.62 (1H, d, 1.8 Hz), 6.70 (1H, d, 1.8 Hz), 6.80 (1H, d, 2.4 Hz), 6.89 (1H, d, 2.4 Hz), 12.63 (1H, s);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 183.0, 164.9, 161.6, 160.0, 148.5, 114.8, 112.7, 111.6, 107.1, 106.9, 100.0, 65.3, 55.9, 55.6, 22.5。

化合物 **7**:  $C_{16}H_{12}O_5$ , 黄色针状晶体; HREIMS  $m/z$ : 284.0673  $[M]^+$  (计算值为 284.0679);  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 12.15 (1H, s), 7.74 (1H, t, 8.4, 7.2 Hz), 7.53 (1H, d, 8.4, 1.2 Hz), 7.31 (1H, d, 7.2, 1.2 Hz), 6.76 (1H, d, 1.2 Hz), 6.64 (1H, d, 1.2 Hz), 4.03 (3H, s), 2.44 (3H, s);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 180.5, 169.6, 161.5, 156.1, 155.7, 149.4, 134.7, 133.7, 122.6, 119.5, 117.6, 111.5, 107.4, 107.0, 53.1, 22.6。

化合物 **8**:  $C_{16}H_{10}O_8$ , 黄色针状晶体, ESIMS  $m/z$  329  $[M - H]^-$ ;  $^1H$  NMR (600 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 12.21 (1H, s), 10.71 (1H, s), 7.67 (1H, d, 9.0 Hz), 7.53 (1H, d, 9.0 Hz), 7.48 (1H, d, 1.2 Hz), 7.20 (1H, d, 1.2 Hz), 3.86 (3H, s);  $^{13}C$  NMR (150 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$ : 180.6, 166.6, 165.8, 160.5, 155.3, 150.9, 149.1, 140.6, 125.8, 120.2, 117.3, 116.9, 109.9, 109.8, 107.7, 52.2。

化合物 **9** 和 **10** 的物理和波谱数据略。

## 参考文献:

- [1] 林永成. 海洋微生物及其代谢产物[M]. 北京:化学工业出版社,2003.
- [2] 洪葵. 红树林放线菌及其天然产物研究进展[J]. 微生物学报,2013,53(11):1131-1141.
- [3] 宋双,薛艳钰,陆勇军,等. 南海红树林内生真菌 *Fusarium solani* 387# 次级代谢产物研究[J]. 中山大学学报(自然科学版),2015,54(5):67-71.
- [4] NOWICKI M, NOWAKOWSKA M, NIEZGODA A, et al. *Alternaria* black spot of crucifers: symptoms, importance of disease, and perspectives of resistance breeding [J]. Vegetable Crops Research Bulletin, 2012, 76: 5-19.
- [5] 丁唯嘉,张穗强,龚兵,等. 半红树植物苦槛蓝内生真菌的分离及抗植物病原菌活性研究[J]. 广东农业科学,2014,41(3):74-78.
- [6] WANG J H, COX D G, DING W J, et al. Three new resveratrol derivatives from the mangrove endophytic fungus *Alternaria* sp. [J]. Marine Drugs, 2014, 12: 2840-2850.
- [7] WANG J H, DING W J, WANG R M, et al. Identification and bioactivity of compounds from the mangrove endophytic fungus *Alternaria* sp. [J]. Marine Drugs, 2015, 13: 4492-4504.
- [8] SHIONO Y, MURAYAMA T, TAKAHASHI K, et al. Three oxygenated cyclohexenone derivatives produced by an endophytic fungus [J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2005, 69(2): 287-292.
- [9] VATCHARIN R, SATHIT B, SOUWALAK P, et al. Amide, cyclohexenone, and cyclohexenone-sordaricin derivatives from the endophytic fungus *Xylaria plebeja* PSU-G30 [J]. Tetrahedron, 2013, 69(50): 10711-10717.
- [10] LEE M D, FANTINI A A, MORTON G O, et al. New antitumor antibiotic, LL-C10037 $\alpha$ , fermentation, isolation and structure determination [J]. Journal of Antibiotics, 1984, 37(10): 1149-1152.
- [11] SHEN B, WHITTLE Y G, GOULD S J, et al. Structure and absolute stereochemistry of the epoxy-quinol LL-C10037 $\alpha$  and related metabolites from *Streptomyces* LL-C10037 [J]. Journal of Organic Chemistry, 1990, 55(14): 4422-4426.
- [12] PANJ H, DENG J J, CHEN Y G, et al. New lactone and xanthone derivatives produced by a mangrove endophytic fungus *Phoma* sp. SK3RW1M from the South China Sea [J]. Helvetica Chimica Acta, 2010, 93(7): 1369-1374.
- [13] SHAO C L, WANG C Y, WEI M Y, et al. Structure elucidation of two new xanthone derivatives from the marine fungus *Penicillium* sp. (ZZF 32#) from the South China Sea [J]. Magnetic Resonance Chemistry, 2008, 46(11): 1066-1069.
- [14] SUN Y L, ZHANG X Y, ZHENG Z H, et al. Three new polyketides from marine-derived fungus *Penicillium citrinum* SC5GAF 0167 [J]. Natural Product Research, 2014, 28(4): 239-244.
- [15] SHI J, ZENG Q, LIU Y, et al. *Alternaria* sp. MG1, a resveratrol-producing fungus: isolation, identification, and optimal cultivation conditions for resveratrol production [J]. Applied Microbiology Biotechnology, 2012, 95(2): 369-379.