

# 一株红树林真菌 *Fusarium* sp. R5 固相发酵代谢产物\*

丁唯嘉<sup>1</sup>, 叶浚韬<sup>1</sup>, 佘志刚<sup>2</sup>, 钟艾青<sup>1</sup>,  
黎子洋<sup>1</sup>, 林隆生<sup>1</sup>, 熊亚红<sup>1</sup>, 李春远<sup>1</sup>

1. 生物基材料与能源教育部重点实验室 / 华南农业大学材料与能源学院, 广东 广州 510642
2. 中山大学化学学院, 广东 广州 510275

**摘要:** 研究半红树植物苦槛蓝内生真菌 *Fusarium* sp. R5 固相大米培养基发酵条件代谢产物, 用层析技术从乙醇提取物中纯化单体, 波谱技术鉴定结构, 二倍稀释法测试抗菌活性。分离到 ZSU-H85 A (1), 7-乙酰基-1, 3, 6-三羟基蒽醌 (2), 6-[(7S, 8R)-8-丙氧基-1-基]-4-甲氧基吡喃-2-酮 (3), 6-戊基-4-甲氧基吡喃-2-酮 (4), xylapyrone C (5), simplicilopyrone (6), 2-羟甲基-3-丙基苯酚 (7), (-)-brassicadiol (8), 麦角甾醇和过氧麦角甾醇共 10 个化合物。化合物 3~8 均为首次从 *Fusarium* 属分离到。化合物 6 对香蕉炭疽菌和番茄枯萎菌显示强抗菌活性; 化合物 6, 7, 8 对 O1, O2 血清型鸡大肠杆菌显示中等抑菌活性。

**关键词:** 红树内生真菌; *Fusarium* sp.; 代谢产物; 抗菌活性

**中图分类号:** O629.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2021) 05-0136-05

## Metabolites of a mangrove fungus *Fusarium* sp. R5 under solid phase fermentation

DING Weijia<sup>1</sup>, YE Juntao<sup>1</sup>, SHE Zhigang<sup>2</sup>, ZHONG Aiqing<sup>1</sup>,  
LI Ziyang<sup>1</sup>, LIN Longsheng<sup>1</sup>, XIONG Yahong<sup>1</sup>, LI Chunyuan<sup>1</sup>

1. Key Laboratory for Biobased Materials and Energy of Ministry of Education / College of Materials and Energy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China
2. School of Chemistry, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

**Abstract:** The study investigated the metabolites by solid fermentation of the endophytic fungus *Fusarium* sp. R5 from the semi-mangrove plant *Myoporum bontiooides* A. Gray. The metabolites were isolated from the ethanol extract by the chromatography technology. Their structures were elucidated by spectral methods. The antifungal activities were evaluated using the dilution method. Ten compounds, ZSU-H85 A (1), 7-acetyl-1, 3, 6-trihydroxyanthracene-9, 10-dione (2), 6-[(7S, 8R)-8-propyloxiran-1-yl]-4-methoxy-pyran-2-one (3), 6-pentyl-4-methoxy-pyran-2-one (4), xylapyrone C (5), simplicilopyrone

\* 收稿日期: 2020-09-03 录用日期: 2020-10-14 网络首发日期: 2021-04-21

**基金项目:** 广东省基础与应用基础研究基金 (2020A1515010325, 2019B1515210023); 广东省自然科学基金 (2018A030313582); 2020年度广东省普通高校特色创新项目 (2020KTSCX018); 华南农业大学2020年度大学生创新创业训练项目

**作者简介:** 丁唯嘉 (1979年生), 女; 研究方向: 应用化学; E-mail: dwjzsu@163.com

**通信作者:** 熊亚红 (1976年生), 女; 研究方向: 应用化学; E-mail: xiongyahong@scau.edu.cn

李春远 (1978年生), 男; 研究方向: 天然产物化学; E-mail: chunyuanyuanli@scau.edu.cn  
(熊亚红、李春远为共同通信作者)

(6), 2-(Hydroxymethyl)-3-propylphenol (7), (-)-brassicadiol (8), ergosterol and ergosterol peroxide were isolated. Among them, compounds 3–8 were obtained from *Fusarium* sp. for the first time. Compound 6 exhibited a high inhibitory activity against *Colletotrichum musae* (Berk. And M. A. Curtis) Arx. and *Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. lycopersici (Sacc.) W. C. Snyder et H. N. Hansen. Compounds 6, 7 and 8 showed moderate inhibitory activities against O1 and O2 serotypes of avian pathogenic *Escherichia coli*.

**Key words:** mangrove endophytic fungus; *Fusarium* sp. ; metabolites; antimicrobial activity

海洋红树林真菌是新颖活性物质发现的重要资源<sup>[1-3]</sup>。苦槛蓝 *Myoporum bontioides* A. Gray 属于半红树植物类群, 是我国唯一的苦槛蓝属植物, 在沿海地区资源丰富<sup>[4-5]</sup>, 我们从该植物中分离筛选到多株具有抗菌活性的内生真菌<sup>[6]</sup>。在对其中 *Fusarium* sp. R5 固相大米培养基发酵代谢产物初步研究中, 得到了4个大环脂肽类化合物, 其中2个新单体具有抗植物病原菌活性<sup>[7]</sup>。本文继续深入研究来自该菌固相培养代谢产物, 共分离鉴定了10个化合物, 分别为ZSU-H85 A (1), 7-乙酰基-1,3,6-三羟基萘醌 (2), 6-[ (7S, 8R) -8-丙氧基-1-基]-4-甲氧基吡喃-2-酮 (3), 6-戊基-4-甲氧基吡喃-2-酮 (4), xylapyrone C (5), simplicilopyrone (6), 2-羟甲基-3-丙基苯酚 (7), (-)-brassicadiol (8), 麦角甾醇和过氧麦角甾醇。化合物3-8均为首次从 *Fusarium* 属分离到。活性测试表明, 化合物6对植物病原真菌香蕉炭疽菌 [*Colletotrichum musae* (Berk. and M. A. Curtis) Arx, ] 和番茄枯萎菌 [*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. lycopersici (Sacc.) W. C. Snyder et H. N. Hansen] 显示强抗菌活性, 化合物1对上述两菌显示弱抑菌活性; 化合物6, 7, 8对致病细菌 O1, O2 血清型鸡大肠杆菌 (avian pathogenic *Escherichia coli*) 显示中等抑菌活性。化合物1~8的结构式见图1。

喃-2-酮 (4), xylapyrone C (5), simplicilopyrone (6), 2-羟甲基-3-丙基苯酚 (7), (-)-brassicadiol (8), 麦角甾醇和过氧麦角甾醇。化合物3-8均为首次从 *Fusarium* 属分离到。活性测试表明, 化合物6对植物病原真菌香蕉炭疽菌 [*Colletotrichum musae* (Berk. and M. A. Curtis) Arx, ] 和番茄枯萎菌 [*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. lycopersici (Sacc.) W. C. Snyder et H. N. Hansen] 显示强抗菌活性, 化合物1对上述两菌显示弱抑菌活性; 化合物6, 7, 8对致病细菌 O1, O2 血清型鸡大肠杆菌 (avian pathogenic *Escherichia coli*) 显示中等抑菌活性。化合物1~8的结构式见图1。

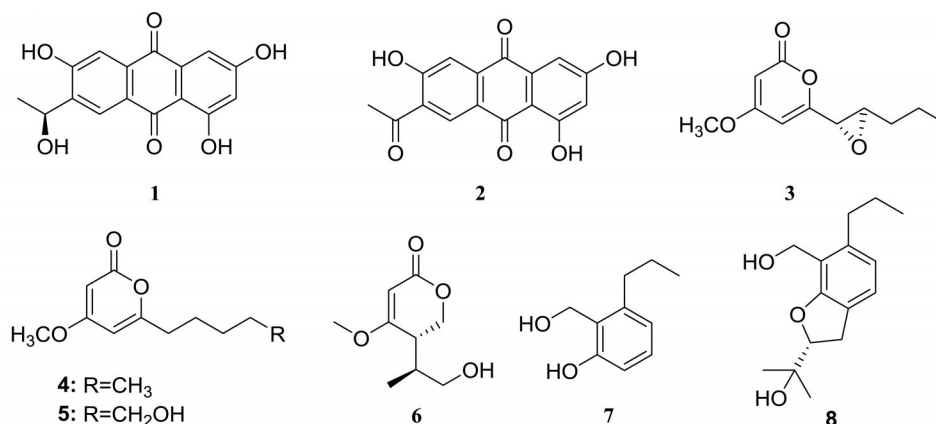


图1 化合物1-8的结构

Fig. 1 The structures of compounds 1-8

## 1 实验部分

### 1.1 试剂与仪器

Bruker Biospin AV 600 核磁共振波谱仪, LCQ Advance MAX 液质联用仪, Horiba SEPA-300 旋光仪。HF254 薄层分析硅胶, 40-140 目柱层析硅胶 (上海安谱实验科技股份有限公司), Sephadex LH-20 凝胶 (GE Healthcare), 所用试剂均为分析纯。

### 1.2 菌种

真菌 *Fusarium* sp. R5 分离自苦槛蓝的根部, 通过 PCR 扩增真菌核糖体 ITS 基因区段 (GenBank: MG867564) 并与 NCBI 数据库中编码为 FJ037750.1 菌株对比 (相似度 99%) 确定菌属<sup>[7]</sup>, 植物病原菌香蕉炭疽菌、番茄枯萎菌及大肠杆菌 (O1, O2 血清型) 分别引种自华南农业大学农学院及材料与能源学院天然资源再生与利用研究室, 保藏于华南农业大学天然资源再生与利用研究室。

### 1.3 菌种发酵及分离

采用大米无菌培养基 (1 L 三角瓶, 每瓶含大米 85 g, 水 100 mL, 粗海盐 0.2 g), 室温静置发酵 40 d, 共 65 瓶。将发酵物用乙醇提取 3 次, 减压浓缩, 得膏状物 27 g。经常规天然代谢产物纯化流程, 依次经硅胶-凝胶柱层析, 薄层层析纯化得出化合物 1 (8 mg), 2 (5 mg), 3 (1 mg), 4 (6 mg), 5 (1 mg), 6 (5 mg), 7 (7 mg), 8 (6 mg), 9 (120 mg), 10 (55 mg)。

### 1.4 抗菌活性测试

通过二倍稀释法<sup>[7]</sup>检测化合物 1, 2, 4, 6~8 体外对香蕉炭疽菌、番茄枯萎菌, O2, O78 血清型鸡大肠杆菌抗菌活性, 28 °C 下培养 48 h, 用三唑酮和氧氟沙星分别作为抗真菌和抗细菌的阳性对照, 记录最小抑菌浓度 (MIC) 值, 实验平行测定 3 次。

### 1.5 化合物的物理和波谱数据

化合物 1:  $C_{16}H_{12}O_6$ , 黄色粉末状, MS (ESI)  $m/z$ : 299.06  $[M-H]^-$ ,  $[\alpha]_D^{25} = -28.2$  ( $c$  0.10, MeOH),  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CD_3COCD_3$ )  $\delta$ : 1.48 (d, 6.5 Hz, 3H), 5.27 (q, 6.5 Hz, 1H), 6.64 (d, 2.0 Hz, 1H), 7.21 (d, 2.0 Hz, 1H), 7.58 (s, 1H), 8.36 (s, 1H),  $^{13}C$  NMR ( $CD_3COCD_3$ , 150 MHz)  $\delta$ : 23.3, 65.6, 107.7, 107.8, 109.9, 112.9, 125.7, 127.0, 134.1, 135.8, 139.6, 159.8, 164.4, 165.4, 181.9, 186.4。

化合物 2:  $C_{16}H_{10}O_6$ , 黄色粉末状, MS (ESI)  $m/z$ : 297.04  $[M-H]^-$ ,  $^1H$  NMR (600 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 2.68 (s, 3H), 6.62 (d, 2.8 Hz, 1H), 7.13 (d, 2.8 Hz, 1H), 7.61 (s, 1H), 8.45 (s, 1H), 12.91 (s, 1H);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 30.3, 108.1, 108.3, 109.4, 115.3, 124.2, 127.7, 130.2, 135.2, 137.2, 163.2, 164.7, 165.0, 181.5, 184.9, 200.5。

化合物 3:  $C_{11}H_{14}O_4$ , 无色晶体, MS (ESI)  $m/z$ : 211.1  $[M+H]^+$ ,  $[\alpha]_D^{25} = -100.2$  ( $c$  0.10, MeOH),  $^1H$  NMR (600 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 0.83 (t, 7.2 Hz, 3H), 1.26 (m, 2H), 1.65 (m, 2H), 3.19 (m, 1H), 3.38 (d, 2.4 Hz, 1H), 3.77 (s, 3H), 5.49 (d, 2.4 Hz, 1H), 6.09 (d, 2.5 Hz, 1H);  $^{13}C$  NMR ( $DMSO-d_6$ , 150 MHz)  $\delta$ : 14.6, 19.3, 33.9, 54.8, 56.9, 61.6, 88.2, 99.8, 163.9, 167.3, 171.4。

化合物 4:  $C_{11}H_{16}O_3$ , 无色晶体, MS (ESI)  $m/z$ : 197.1  $[M+H]^+$ ,  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 0.93 (t, 6.6 Hz, 3H), 1.35 (m, 2H), 1.36 (m, 2H), 1.68 (m, 2H), 2.47 (t, 7.5 Hz, ), 3.83 (s, 3H), 5.45 (d, 2.2 Hz,

1H), 5.81 (d, 2.2 Hz, 1H);  $^{13}C$  NMR ( $CDCl_3$ , 150 MHz)  $\delta$ : 14.2, 22.0, 25.9, 30.0, 32.7, 57.1, 87.3, 100.0, 164.3, 165.1, 170.9。

化合物 5:  $C_{11}H_{16}O_4$ , 白色晶体, MS (ESI)  $m/z$ : 269.0  $[M+Na]^+$ ,  $^1H$  NMR (600 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 1.32 (m, 2H), 1.44 (m, 2H), 1.57 (dt, 7.8 Hz, 2H), 2.46 (t, 7.8 Hz, 2H), 3.39 (dd, 6.4 Hz, 11.5 Hz, 2H), 3.80 (s, 3H), 4.38 (t, 5.4 Hz, 1H), 5.54 (d, 2.4 Hz, 1H), 6.06 (d, 2.4 Hz, 1H);  $^{13}C$  NMR (150 MHz,  $DMSO-d_6$ )  $\delta$ : 25.4, 26.7, 32.7, 33.2, 56.8, 61.1, 87.8, 99.9, 164.2, 166.1, 171.6。

化合物 6:  $C_9H_{14}O_4$ , 无色晶体, MS (ESI)  $m/z$ : 211.1  $[M+H]^+$ ,  $[\alpha]_D^{25} = +76.2$  ( $c$  0.10, MeOH),  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 1.00 (d, 6.6 Hz, 3H), 2.11 (m, 1H), 2.53 (m, 1H), 3.58 (dd, 11.0, 6.0 Hz, 1H), 3.62 (dd, 11.0, 5.5 Hz, 1H), 3.75 (s, 3H), 4.39 (d, 3.6 Hz, 2H), 5.19 (s, 1H);  $^{13}C$  NMR ( $CDCl_3$ , 150 MHz)  $\delta$ : 14.2, 36.9, 39.3, 55.8, 65.6, 68.2, 91.2, 167.0, 175.0。

化合物 7:  $C_{10}H_{14}O_2$ , 无色油状物, MS (ESI)  $m/z$ : 167.1  $[M+H]^+$ ,  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 0.97 (t, 7.4 Hz, 3H), 1.55 (m, 2H), 2.58 (t, 7.8 Hz, 2H), 4.91 (s, 2H), 6.73 (d, 8.4 Hz, 1H), 6.76 (d, 8.4 Hz, 1H), 7.11 (t, 8.4 Hz, 1H);  $^{13}C$  NMR ( $CDCl_3$ , 150 MHz)  $\delta$ : 14.2, 24.9, 35.3, 60.1, 114.5, 121.7, 122.7, 128.9, 140.8, 156.7。

化合物 8:  $C_{15}H_{22}O_3$ , 无色针状晶体, MS (ESI)  $m/z$ : 251.2  $[M+H]^+$ ,  $[\alpha]_D^{25} = -18.6$  ( $c$  0.10, MeOH),  $^1H$  NMR (600 MHz,  $CDCl_3$ )  $\delta$ : 0.97 (t, 7.8 Hz, 3H), 1.19 (s, 3H), 1.35 (s, 3H), 1.57 (m, 7.8 Hz, 2H), 1.68 (brs, OH, 1H), 2.41 (brs, OH, 1H), 2.62 (m, 2H), 3.08 (dd, 15.6 Hz, 9.6 Hz, 1H), 3.17 (dd, 15.6 Hz, 9.2 Hz, 1H), 4.63 (dd, 1H, 8.8 Hz, 8.8 Hz, 1H), 4.71 (s, 2H), 6.67 (d, 7.6 Hz, 1H), 7.01 (d, 7.6 Hz, 1H);  $^{13}C$  NMR ( $CDCl_3$ , 150 MHz)  $\delta$ : 14.0, 24.0, 25.2, 26.3, 30.4, 34.5, 57.2, 71.8, 89.7, 120.2, 121.8, 124.2, 124.7, 140.8, 158.6。

## 2 结果与讨论

$^{13}C$  NMR 谱显示化合物 1 具有 12 个双键碳及 2 个典型的  $\delta$  181.9, 186.4 的羰基碳, 推测可能是蒽醌类化合物。 $^1H$  NMR  $\delta$  1.48 (d, 6.5 Hz, 3H) 的甲基及次甲基 5.27 (q, 6.5 Hz, 1H) 相互连接, 结合化学位移及质谱数据推测次甲基上连有羟基。根据  $\delta$

6.64~8.36的4组芳香质子的耦合常数推测蒽醌的2个苯环上分别为 $\beta$ ,  $\gamma$ 位取代和间位取代, 参考MS表明另外3个取代基均为羟基。由此与文献[8-9]数据对比, 鉴定结构为ZSU-H85 A。

化合物2的波谱数据与1十分相似,  $^{13}\text{C}$  NMR数据仅在 $\delta$  65.6少了一个碳,  $\delta$  200.5多了一个碳。但MS表明化合物2相对分子质量比化合物1少2, 表明前者是后者连接羟基的CH氧化为羰基的产物。由此与文献[10]波谱数据对比基本相同, 鉴定结构化合物2为7-乙酰基-1,3,6-三羟基蒽醌。

$^{13}\text{C}$  NMR谱显示化合物3有一个酯羰基碳( $\delta$  171.4), 两个双键( $\delta$  88.2, 99.8, 163.9, 167.3),  $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  5.49 (d, 2.4 Hz, 1H), 6.09 (d, 2.4 Hz, 1H)表明这5个碳和氧形成了六元内酯环, 且双键间位有取代,  $\delta$  3.77 (s, 3H)表明其中一个取代基是甲氧基,  $\delta$  0.83 (t, 7.2 Hz, 3H), 1.26 (m, 2H), 1.65 (m, 2H), 3.19 (m, 1H), 3.38 (d, 2.4 Hz, 1H)结合碳谱 $\delta$  14.6~61.6的碳表明另一个取代基是一条5个碳的链, 其中有两个碳连接氧, 根据质谱和碳谱所反映的分子式, 表明分子中除了内酯环外还存在另外一个环, 推测可能是三元环氧环。由此与文献[11]相关数据对照基本相同, 因此鉴定化合物3为6-[(7S, 8R)-8-丙氧基-1-基]-4-甲氧基吡喃-2-酮。

化合物4的NMR谱与化合物3相似, 表明具有相同的骨架。综合对比化合物4和3的 $^{13}\text{C}$ 、 $^1\text{H}$  NMR数据, 发现前者比后者少了两个连氧的次甲基碳, 多了两个亚甲基碳, 表明相关取代基转变成了正戊基。由此与文献[12]相关数据对比基本相同, 鉴定化合物4为6-戊基-4-甲氧基吡喃-2-酮。

化合物5的NMR谱与化合物4整体相似。对比化合物5和4的 $^{13}\text{C}$ 、 $^1\text{H}$  NMR数据, 发现前者比后者少了一个甲基碳, 多了一个连羟基的亚甲基碳, 表明6位取代的正戊基转化成了羟戊基。由此与文献[13]波谱数据对照基本一致, 鉴定化合物5为xylapyrone C。

化合物6的 $^{13}\text{C}$  NMR谱图与化合物5相比少了一个双键, 对比化学位移值推测六元内酯环5,6位的双键转变成了单键,  $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  3.75 (s, 3H)显示 $-\text{OCH}_3$ 仍在, 由此推测剩余的一个取代基含有3个碳,  $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  1.00 (d, 6.6 Hz, 3H)表明甲基连接在CH上, 综合分析氢谱碳谱及质谱反映的相对分子质量表明还剩余一个 $-\text{CH}_2\text{OH}$ 结构单元。由此与文献[14]波谱数据及比旋光度对照基本一致, 鉴定化合

物6为simplicilopyrone。

化合物7的 $^{13}\text{C}$  NMR谱 $\delta$  114.5~156.7的6个双键碳及 $^1\text{H}$  NMR谱 $\delta$  6.73 (d, 8.4 Hz, 1H), 6.76 (d, 8.4 Hz, 1H), 7.11 (t, 8.4 Hz, 1H)表明分子中存在1,2,3-三取代苯环, 由 $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  0.97 (t, 7.4 Hz, 3H), 1.55 (m, 2H), 2.58 (t, 7.8 Hz, 2H)推测有一个正丙基,  $\delta$  4.91 (s, 2H)推测有一个羟甲基, 根据质谱结合碳谱推测剩下的一个取代基是羟基。由此与文献[15]波谱数据对照基本一致, 鉴定化合物7为2-羟甲基-3-丙基苯酚。

对比化合物8和7的核磁数据, 表明化合物8仍存在苯环,  $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  6.67 (d, 7.8 Hz, 1H), 7.01 (d, 7.8 Hz, 1H)表明苯环变为1,2,3,4-四取代。进一步对比发现取代基仍保留有正丙基、羟甲基。根据质谱和核磁推导出分子式显示5个不饱和度, 表明分子除了苯环外还有一个环。 $^1\text{H}$  NMR  $\delta$  1.19 (s, 3H), 1.35 (s, 3H)是两个连接在季碳上的甲基, 1.68 (brs, OH, 1H), 2.41 (brs, 1H, OH)滴加重水消失表明是两个羟基, 推测两个甲基所连的季碳上连接了一个羟基。由此剩余 $\delta$  4.63 (dd, 1H, 8.8 Hz, 8.8 Hz, 1H)的连氧CH及连苯环的 $\text{CH}_2$ 只能和氧及苯环的两个邻位碳组成五元呋喃环。在此基础上与文献[16]波谱及比旋光度数据对照基本一致, 鉴定化合物8为(-)-brassicadiol。

用文献[7]报道的二倍稀释法测试所得足量化合物1,2,4,6~8体外抗菌活性。其中对番茄枯萎菌、香蕉炭疽菌抗菌活性(阳性对照三唑酮对两菌最小抑菌质量浓度MIC分别为100和80  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )测试结果显示化合物6对两菌的MIC均为50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 活性强于阳性对照, 表明化合物6可作为抗上述植物病原真菌的先导化合物开展深入研究。此外, 化合物1对两菌MIC分别为400和200  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 其余测试结果MIC均大于400  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。上述化合物对国内常见的O1、O2血清型鸡大肠杆菌的抗菌测试结果显示(阳性对照氧氟沙星对两种血清型MIC分别为1.25和2.0  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 化合物6对两种血清型菌的MIC均为50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 化合物7对O1、O2血清型鸡大肠杆菌MIC分别为12.5和25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 化合物8对两种血清型菌MIC均为25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 其余测试化合物MIC均大于200  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。尽管化合物6~8仅对O1、O2血清型鸡大肠杆菌显示中等抑菌活性, 但它们均结构简单, 后续可以考虑作为先导化合物开展结构修饰尝试增加抗菌活性。

## 参考文献:

- [1] BLUNT J W, COPP B R, KEYZERS R A, et al. Marine natural products [J]. *Natural Product Reports*, 2017, 34: 235–294.
- [2] ZHU X, ZHOU D, LIANG F, et al. Penochalasin K, a new unusual chaetoglobosin from the mangrove endophytic fungus *Penicillium chrysogenum* VII and its effective semi-synthesis [J]. *Fitoterapia*, 2017, 123: 23–28.
- [3] CHEN S, CHEN D, CAI R, et al. Cytotoxic and antibacterial preussomerins from the mangrove endophytic fungus *Lasiodiplodia theobromae* ZJ-HQ1 [J]. *Journal of Natural Products*, 2016, 79: 2397–2402.
- [4] 汪开治. 苦槛蓝的开发利用 [J]. *植物杂志*, 1996, 5(1): 13.  
WANG K Z. The exploitation and utilization of *Myoporum bontioides* [J]. *Plants*, 1996, 5(1): 13.
- [5] 李显珍, 李春远, 吴伦秀, 等. 苦槛蓝叶化学成分研究 [J]. *中草药*, 2011, 42(11): 2204–2207.  
LI X Z, LI C Y, WU L X, et al. Chemical constituents from leaves of *Myoporum bontioides* [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2011, 42(11): 2204–2207.
- [6] 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: 74–78.  
DING W J, ZHANG S Q, GONG B, et al. Isolation and inhibitory activity of endophytic fungi from the semi-mangrove plant *Myoporum bontioides* A. Gray [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41: 74–78.
- [7] ZHU X, ZHONG Y, XIE Z, et al. Fusarihexasins A and B: novel cyclic hexadepsipeptides from the mangrove endophytic fungus *Fusarium* sp. R5 with antifungal activities [J]. *Planta Medica*, 2018, 84: 1355–1362.
- [8] 王军, 马文哲, 汪夕芳, 等. 来自海南红树林内生真菌 ZSU-H85 (L. K) 的新蒽醌 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2010, 49(4): 150–152.  
WANG J, MA W Z, WANG X F, et al. A new anthraqui-
- none from mangrove entophytic fungus ZSU-H85 (L. K) from Hainan Province [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2010, 49(4): 150–152.
- [9] ZHAO D L, WANG D, TIAN X Y, et al. Anti-phytopathogenic and cytotoxic activities of crude extracts and secondary metabolites of marine-derived fungi [J]. *Marine Drugs*, 2018, 16: 36.
- [10] PANG X, LIN X, TIAN Y, et al. Three new polyketides from the marine sponge-derived fungus *Trichoderma* sp. SCSIO41004 [J]. *Natural Product Research*, 2018, 32(1): 105–111.
- [11] YANG X L, HUANG L, LI H Y, et al. Two new compounds from the plant endophytic fungus *Pestalotiopsis versicolor* [J]. *Journal of Asian Natural Products Research*, 2014, 17(4): 333–337.
- [12] EVIDENTE A, ZONNO M C, ANDOLFI A, et al. Phytotoxic  $\alpha$ -pyrones produced by *Pestalotiopsis guepinii*, the causal agent of hazelnut twig blight [J]. *Journal of Antibiotics*, 2012, 65: 203–206.
- [13] ZHANG H, DENG Z, GUO Z, et al. Effect of culture conditions on metabolite production of *Xylaria* sp. [J]. *Molecules*, 2015, 20: 7940–7950.
- [14] SAETANG P, RUKACHAISIRIKUL V, PHONGPAICHIT S, et al. Depsidones and an  $\alpha$ -pyrone derivative from *Simplicillium* sp. PSU-H41, an endophytic fungus from *Hevea brasiliensis* leaf [J]. *Phytochemistry*, 2017, 143: 115–123.
- [15] WEBER D, GORZALCZANY S, MARTINO V, et al. Metabolites from endophytes of the medicinal plant *Erythrina cristagalli* [J]. *Zeitschrift für Naturforschung Section C: A Journal of Biosciences*, 2005, 60: 467–477.
- [16] KURAMOCHI K, TSUBAKI K. Synthesis and structural characterization of natural benzofuranoids [J]. *Journal of Natural Products*, 2015, 78(5): 1056–1066.

(责任编辑 张冰)