

南海红树林内生真菌 *Phomopsis* sp.ZZF08 酰胺类次级代谢产物*

陶移文¹, 凌惠平¹, 张建业¹, 佘志刚², 林永成²
(1. 广州医科大学药学院, 广东 广州 511436;
2. 中山大学化学与化学工程学院, 广东 广州 510275)

摘要: 采用色谱技术对红树林内生真菌 *Phomopsis* sp. ZZF08 代谢产物进行分离纯化, MS、NMR、X-单晶衍射及与文献数据比对等方法确定其结构, MTT 法考察其对体外人鼻咽癌细胞 KB 和 KBv200 的毒性作用。结果表明, 由红树林内生真菌 *Phomopsis* sp. ZZF08 培养液中分离得到 12 个酰胺类化合物, 经鉴定, 分别为 viridicatol (1)、cytochalasin H (2)、cytochalasin IV (3)、葡萄糖神经酰胺 (4)、 $\Delta^{4(5)}$ (E)-鞘氨醇-正十六碳酰胺 (5)、尿囊素 (6)、胸腺嘧啶 (7)、尿嘧啶 (8)、环(亮-甘)二肽 (9)、环(亮-丙)二肽 (10)、环(苯丙-甘)二肽 (11) 和环(苯丙-丙)二肽 (12), 其中, 化合物 1, 2, 3, 4, 5 为首次从湛江红树林内生真菌 *Phomopsis* sp. 中发现。体外细胞毒性实验表明化合物 2, 3 对 KB 细胞和 KBv200 细胞有较强细胞毒性。

关键词: 红树林; 内生真菌; 拟茎点霉菌; 酰胺类次级代谢产物

中图分类号: O621.2 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579 (2017) 05-0073-07

Amide metabolites of the mangrove endophytic fungus *Phomopsis* sp. ZZF08 from the South China Sea

TAO Yuwen¹, LING Huiping¹, ZHANG Jianye¹, SHE Zhigang², LIN Yongcheng²

(1. School of Pharmaceutical Sciences, Guangzhou Medical University, Guangzhou 511436, China;
2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The amide metabolites of *Phomopsis* sp. ZZF08 from the South China Sea were isolated and purified by chromatography. Their structures were determined by MS, NMR, X-ray diffraction data and comparison with the literature data. Cytotoxicity *in vitro* was performed by tetrazolium (MTT) assay. Twelve amide compounds were isolated, which were viridicatol (1), cytochalasin H (2), cytochalasin IV (3), glucosylceramide (4), ceramide (5), allantoin (6), thymine (7), pyridine (8), cyclo-(Leu-Gly) (9), cyclo-(Leu-Ala) (10), cyclo-(Phe-Gly) (11), and cyclo-(Phe-Ala) (12). Compounds 1, 2, 3, 4 and 5 were isolated firstly from *Phomopsis* sp. collected from the mangrove bark of the Zhanjiang. In our cytotoxicity assays, compounds 2 and 3 exhibited strong cytotoxicity toward KB cells and KBv200 cells.

Key words: mangrove; endophytic fungus; *Phomopsis* sp.; amide metabolites

* 收稿日期: 2017-05-08

基金项目: 广东省自然科学基金 (2016A030313588); 广东省科技计划项目 (2013B021100021); 广州市教育局项目 (1201610155)

作者简介: 陶移文 (1975 年生), 男; 研究方向: 天然药物化学; E-mail: yywentao@aliyun.com

红树林内生真菌因其独特的生存环境而产生了独特的代谢方式, 为其产生结构新颖, 活性出众的次级代谢产物提供了可能^[1-3]。拟茎点霉属 *Phomopsis* (Sacc.) Bubak 在分类学上属于半知菌亚门、腔胞纲、球壳孢目、球壳孢科, 其种类多、分布广, 活性代谢产物丰富^[4-7]。

Phomopsis sp. ZZF08 为广东省湛江红树林植物树皮内生真菌, 其代谢产物丰富。对该菌进行大规模发酵后, 分离得到 12 个酰胺类化合物。运用现

代波谱技术, 单晶衍射技术以及文献比对等方法, 确定这些化合物为 viridicatol (**1**)、cytochalasin H (**2**)、cytochalasin IV (**3**)、葡萄糖神经酰胺 (**4**)、 $\Delta^{4(5)}$ -(*E*)-鞘氨醇-正十六碳酰胺 (**5**)、尿囊素 (**6**)、胸腺嘧啶 (**7**)、尿嘧啶 (**8**)、环(亮-甘)二肽 (**9**)、环(亮-丙)二肽 (**10**)、环(苯丙-甘)二肽 (**11**) 和环(苯丙-丙)二肽 (**12**), 结构式见图 1。

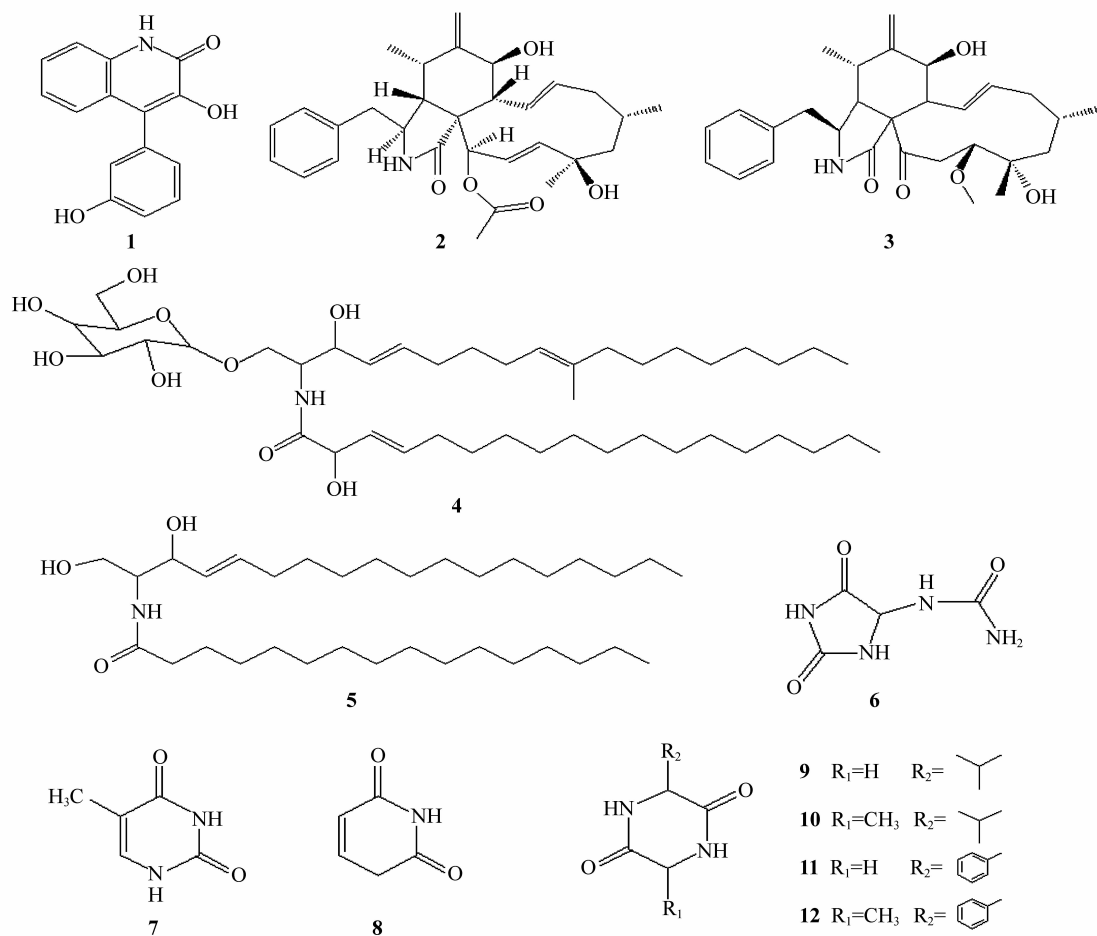


图 1 化合物的结构式

Fig. 1 The structures of compounds

1 仪器与材料

Varian INOVA 500NB/400NB/300NB 核磁共振波谱仪 (美国 Varian 公司); VG ZAB-HS 双聚焦质谱仪 (英国 VG 公司); VG Autospec - 500 质谱 (英国 VG 公司); EQUINOX55 红外仪 (德国 Bruker 公司); UV - 2501PC 紫外 - 可见分光光度计 (日本岛津公司); Vario EL CHNS - O 元素分析仪 (德国 Elementar 公司); Bruker XSCANS 衍射仪

(德国 Bruker 公司); Polaptronic HNQW5 型旋光仪 (德国 Schmidt-Haensch 公司); 北京 X - 4 型显微熔点仪; Agilent 1100 型高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司)。薄层色谱硅胶 GF₂₅₄ 和柱色谱用硅胶 (青岛海洋化工厂有限公司); 常规试剂均为 AR。

2 提取与分离

发酵培养基为 GYP 为: φ (葡萄糖) = 1%, φ (蛋白胨) = 0.2%, φ (酵母膏) = 0.1%, φ (粗海

盐) = 0.2%, pH 7.0, 室温静置培养 30 d。

用纱布过滤发酵液, 分离菌体和发酵液。发酵液浓缩至 5 L, 用乙酸乙酯萃取 3 次; 菌体晾干, 甲醇浸泡至无色。将萃取物和浸提物合并, 经硅胶柱层析、高效液相色谱、重结晶等操作, 获得 12 个纯化合物。

3 结构鉴定

化合物 **1**: 白色块状固体, θ_{mp} 250 ~ 252 °C, HR EI MS m/z 253.072 9, 结合 ^1H 和 ^{13}C NMR 数据可确定该化合物分子式为 $\text{C}_{15}\text{H}_{11}\text{NO}_3$, 不饱和度 $U = 11$ 提示分子中可能存在芳香环。红外光谱数据 (35 44, 3 423, 3 239, 1 654 和 1 245 cm^{-1}) 暗示分子中有羟基、酰胺和芳环存在。 ^1H NMR (DMSO- d_6 , 500 MHz) δ : 9.06 (1H, s), 7.34 (1H, dd, $J = 1.0, 8.0$ Hz), 7.07 (1H, ddd, $J = 1.0, 8.0, 8.0$ Hz), 7.32 (1H, dt, $J = 1.0, 8.0$ Hz), 7.09 (1H, dd, $J = 1.0, 8.0$ Hz), 6.71 (1H, dd, $J = 1.5, 2.5$ Hz), 6.82 (1H, ddd), 7.29 (1H, dd, $J = 8.0, 8.0$ Hz), 6.72 (1H, ddd, $J = 1.0, 1.5,$

8.5 Hz), 12.16 (1H, s), 9.55 (1H, s); ^{13}C NMR (DMSO- d_6 , 125 MHz) δ : 158.3, 157.3, 142.2, 134.9, 133.1, 129.5, 126.5, 124.5, 124.2, 122.2, 120.9, 120.4, 116.8, 115.3, 114.7。 ^1H NMR 显示该化合物含 8 个芳香区质子峰和三个可交换的质子信号 ($\delta_{\text{H}} = 9.06, 9.55, 12.16$), 其中 $\delta_{\text{H}} = 12.16$ 应为螯合羟基质子峰。 ^{13}C NMR 和 DEPT 135° 谱图表明化合物存在 8 个芳香 CH (129.5、126.5、124.5、122.2、120.4、116.8、115.3 和 114.7), 6 个芳香季碳 (120.9、124.2、133.1、134.9、142.2 和 157.3) 以及 1 个酰胺基团 (δ_{C} : 158.3)。这些基团对应 8 个不饱和度, 相对于 11 个不饱和度来说分子中还剩 3 个不饱和度, 暗示化合物结构中应该含 3 个环。一维氢谱和 $^1\text{H} - ^1\text{H}$ COSY 谱图表明一组 4 个芳香次甲基质子依次连接在一起的, 另一组 3 个芳香质子也是依次连接在一起的。综合上述信息, 推导出该化合物的初步结构是苯酚取代的异喹啉结构, 经文献查阅后确定化合物 **1** 为 viridicatol^[8]。X-单晶衍射进一步证实其结构, 其单晶结构见图 2。

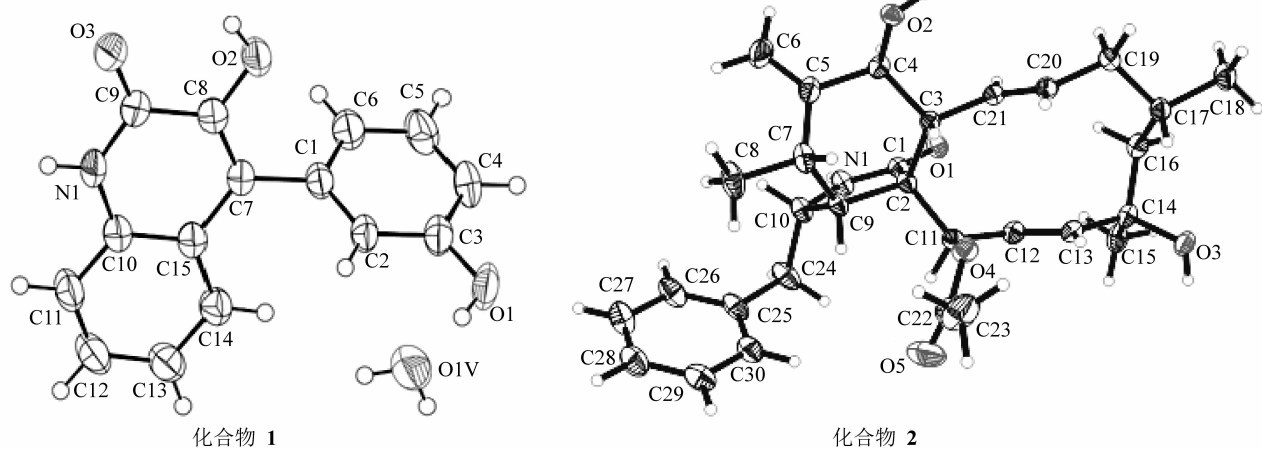


图 2 化合物 **1** 和 **2** 的分子结构图

Fig. 2 Molecular structures of compounds **1** and **2**

化合物 **2**: 无色块状晶体, θ_{mp} 272 ~ 273 °C, HR EI MS m/z 493.285 1, 结合 ^1H 和 ^{13}C NMR 数据可确定该化合物分子式为 $\text{C}_{30}\text{H}_{39}\text{NO}_5$ 。 ^1H NMR (DMSO- d_6 , 500 MHz) δ : 5.68 (1H, s), 3.24 (1H, m), 2.11 (1H, t), 2.76 (1H, m), 3.81 (1H, d, $J = 11.0$ Hz), 2.92 (1H, t), 2.64 (1H, dd, $J = 8.5, 13.5$ Hz), 2.84 (1H, dd, $J = 4.5, 13.5$ Hz), 0.97 (3H, d, $J = 6.5$ Hz), 5.09 (1H, s), 5.33 (1H, s), 5.72 (1H, ddd, $J = 1.0,$

10.5, 15.5 Hz), 5.38 (1H, m), 1.8 (1H, m), 2.03 (1H, m), 1.77 (1H, m), 1.55 (1H, dd, $J = 3.0, 14.0$ Hz), 1.86 (1H, dd, $J = 3.0, 14.0$ Hz), 5.84 (1H, dd, $J = 3.0, 13.5$ Hz), 5.52 (1H, dd, $J = 2.5, 13.5$ Hz), 5.54 (1H, s), 1.03 (3H, d), 1.32 (3H, s), 2.26 (3H, s), 7.13 (2H, d), 7.31 (2H, dd), 7.23 (1H, t), 2.08 (1H, s); ^{13}C NMR (DMSO- d_6 , 125 MHz) δ : 174.2, 170.1, 147.9, 138.6, 138.1, 137.3, 129,

128.9, 127.1, 127.0, 125.9, 114.0, 77.4, 74.2, 69.7, 53.7, 53.7, 51.7, 50.3, 47.1, 45.5, 42.7, 32.8, 31.1, 28.4, 26.4, 20.8, 14.0。通过¹H NMR、¹³C NMR 及 2D NMR 确定了 **2** 的结构为 cytochalasin H^[7]。该结构经 X-单晶衍射证实, 其单晶结构见图 2。

化合物 **3**: 白色晶体, θ_{mp} 124 ~ 126 °C, EI MS m/z 481。¹H NMR (DMSO-*d*₆, 500 MHz) δ : 7.99 (1H, d, $J = 8.5$ Hz), 6.55 (1H, d, $J = 8.5$ Hz), 3.82 (1H, dd, $J = 5, 10$ Hz), 2.43 (1H, m), 2.70 (2H, m), 1.15 (3H, s), 3.63 (3H, s), 7.56 (1H, d, $J = 8.5$ Hz), 6.55 (1H, d, $J = 8.5$ Hz), 3.93 (1H, d, $J = 10$ Hz), 2.43 (1H, m), 2.46 (2H, m), 3.63 (3H, s), 1.08 (3H, s), 11.34 (1H, br s), 11.62 (1H, br s), 2.05 (2H, br s), 13.76 (2H, br s); ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 125 MHz) δ : 188.43, 188.43, 179.92, 179.12, 170.99, 170.92, 162.22, 159.98, 159.87, 157.22, 141.94, 141.87, 118.31, 116.70, 110.13, 108.33, 107.69, 107.51, 103.00, 102.73, 86.08, 86.08, 77.06, 76.8, 53.07, 52.98, 36.77, 36.66, 30.87, 30.87, 18.24, 18.10。将核磁数据与文献[9]相对照, 证实 **3** 为 cytochalasin IV。

化合物 **4**: 白色粉末状固体, θ_{mp} 178 ~ 180 °C。LC MS m/z 754.4 [M + 1]⁺。结合¹H、¹³C NMR 推断分子式为 C₄₃H₇₉NO₉, 不饱和度 $U = 5$ 。¹H NMR (DMSO-*d*₆, 500 MHz) δ : 3.55 (1H, dd, $J = 10.5, 4.5$ Hz), 3.91 (1H, dd, $J = 10.5, 6.0$ Hz), 3.81 (1H, m), 4.01 (1H, ddd, $J = 7.0, 6.0, 6.0$ Hz), 5.40 (1H, dd, $J = 15.0, 6.0$ Hz), 5.59 (1H, dt, $J = 15.0, 6.0$ Hz), 1.97 (2H, m), 1.85 (2H, m), 1.98 (2H, m), 5.09 (1H, t, $J = 7.0$ Hz), 1.93 (m, 2H), 1.28 (m, 12H), 1.28 (2H, m), 0.84 (3H, t, $J = 7.5$ Hz), 1.51 (3H, s), 7.29 (1H, d, $J = 9.0$ Hz), 5.60 (1H, d, $J = 5.0$ Hz), 4.80 (1H, d, $J = 7.0$ Hz), 4.30 (1H, ddd, $J = 5.5, 5.0, 1.5$ Hz), 5.46 (1H, dd, $J = 16.0, 5.5$ Hz), 5.69 (1H, ddt, $J = 16.0, 7.5, 1.5$ Hz), 1.96 (2H, m), 1.35 (2H, m), 1.28 (20H, m), 1.28 (2H, m), 0.84 (3H, t, $J = 7.5$ Hz), 4.12 (1H, d, $J = 8.0$ Hz), 2.98 (1H, ddd, $J = 8.0, 8.0, 4.5$ Hz), 3.20 (1H, m), 3.08 (1H, m), 3.09 (1H, m), 3.45 (1H, ddd, $J = 11.0, 5.5, 6.0$ Hz), 3.67 (1H, ddd, J

= 11.0, 6.0, 2.0 Hz), 4.79 (1H, d, $J = 4.5$ Hz), 4.74 (1H, d, $J = 4.5$ Hz), 4.73 (1H, d, $J = 5.0$ Hz), 4.34 (1H, t, $J = 6.0$ Hz); ¹³C NMR (DMSO-*d*₆, 125 MHz) δ : 171.9, 134.7, 130.8, 130.7, 130.7, 128.9, 123.3, 103.3, 76.7, 76.5, 73.2, 71.8, 70.5, 70, 68.3, 61.0, 52.9, 38.8, 31.9, 31.0, 28.5 - 31.4, 28.5 - 31.4, 28.4, 27.2, 27.1, 21.8, 21.8, 15.5, 13.6, 13.6。通过与文献[10]数据比对, 确定化合物 **4** 为(3'*E*, 4*E*) - 1 - (β -D - 吡喃葡萄糖基) - 3 - 羟基 - 2 - [(2' - 羟基十八碳酰基)氨基] - 10 - 甲基 - 3', 4, 9 - 十八碳三烯, 即葡萄糖神经酰胺。

化合物 **5**: 白色固体, θ_{mp} 95 ~ 97 °C, FAB MS m/z 583 [M + 1]⁺。¹H NMR (CDCl₃, 300 MHz) δ : 6.36 (1H, d, $J = 5.5$ Hz), 5.78 (1H, dt, $J = 16.0, 6.0$ Hz), 5.30 (1H, dd, $J = 16.0, 6.5$ Hz), 4.32 (1H, t, $J = 5.0$ Hz), 3.95 (1H, dd, $J = 11.0, 4.0$ Hz), 3.91 (1H, d, $J = 3.5$ Hz), 3.71 (1H, dd, $J = 11.0, 3.5$ Hz), 2.25 (2H, m, $J = 7.5$ Hz), 2.05 (2H, q, $J = 6.0$ Hz), 1.64 (2H, m), 1.35 (2H, t, $J = 7.5$ Hz), 1.26 (44H, br s), 0.88 (6H, t, $J = 6.5$ Hz); ¹³C NMR (CDCl₃, 75 MHz) δ : 173.1, 134.3, 128.8, 74.6, 62.5, 54.5, 36.9, 32.6, 31.9, 29.4 ~ 29.9, 25.8, 22.7, 14.0。化合物的波谱数据与文献[11]比较, 确定化合物 **5** 为 $\Delta^{4(5)}$ (E) - 鞘氨醇 - 正十六碳酰胺。

化合物 **6**: 白色细簇状晶体, θ_{mp} 236 ~ 237 °C; FAB MS m/z : 159 [M + 1]。¹H NMR (DMSO-*d*₆, 300 MHz) δ : 10.48 (1H, s), 7.98 (1H, s), 6.85 (1H, d, $J = 8.0$ Hz), 5.71 (2H, s), 5.24 (1H, dd, $J = 8.0, 1.0$ Hz); ¹³C NMR (DMSO, 75 MHz) δ : 173.5, 157.3, 156.7, 62.4; 这与尿囊素的波谱数据相符合, 单晶数据进一步确证了其结构。

化合物 **7**: 黄色固体; θ_{mp} 233 ~ 235 °C; ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 300 MHz) δ : 1.70 (3H, s), 7.20 (1H, d, $J = 2.0$ Hz), 10.48 (1H, s), 10.91 (1H, s)。其外观、TLC 和氢谱与实验室常见化合物库中的胸腺嘧啶相符, 所以可确定 **7** 为胸腺嘧啶。

化合物 **8**: 泥黄色固体, $\theta_{mp} > 265$ °C (升华); ¹H NMR (DMSO-*d*₆, 300 MHz) δ : 5.43 (1H, dd, $J = 1.0, 7.5$ Hz), 7.23 (1H, d, $J = 7.5$ Hz), 10.72 (1H, s), 10.92 (1H, s)。外观、TLC 和氢谱与实验室常见化合物库中的尿嘧啶一致, 确定化合物 **8** 为尿嘧啶。

化合物 **9**: 白色粉末, θ_{mp} 224 ~ 226 °C; ^1H NMR (DMSO- d_6 , 300 MHz) δ : 8.20 (1H, br s), 7.91 (1H, br s), 3.79 (1H, m), 3.63 (2H, m), 1.77 (1H, m), 1.52 (2H, t, $J = 6.9$ Hz), 0.89 (3H, d, $J = 6.9$ Hz), 0.87 (3H, d, $J = 6.9$ Hz); ^{13}C NMR (DMSO- d_6 , 75 MHz) δ : 165.95, 168.31, 52.82, 44.23, 42.14, 23.78, 23.05, 21.96。参照标准谱图^[12], 化合物 **9** 可确定为环(甘-亮)二肽。

化合物 **10**: 白色粉末, 在 210 ~ 220 °C 升华。FAB MS m/z 185 [M + 1]。 ^1H NMR (DMSO- d_6 , 300 MHz) δ : 8.11 (1H, s), 8.09 (1H, s), 3.86 (1H, m), 3.76 (1H, m), 1.82 ~ 1.86 (1H, m), 1.61 ~ 1.66 (1H, m), 1.71 ~ 1.76 (1H, m), 1.44 (3H, d, $J = 7.0$ Hz), 0.97 (3H, d, $J = 6.5$ Hz), 0.96 (3H, d, $J = 6.5$ Hz); ^{13}C NMR (DMSO- d_6 , 75 MHz) δ : 171.5, 170.9, 60.9, 54.8, 45.1, 25.3, 23.5, 22.1, 20.9。根据 ^1H NMR, ^{13}C NMR 和 MS 及与文献[13]对照可确定化合物 **10** 为环(丙-亮)二肽。

化合物 **11**: 白色粉末, 加热到 165 ~ 170 °C 升华; FAB MS m/z 205 [M + 1]⁺; ^1H NMR (DMSO- d_6 , 300 MHz) δ : 8.09 (1H, br s), 7.81 (1H, br s), 7.17 ~ 7.27 (5H, m), 4.06 (1H, m), 3.38 (1H, d, $J = 16.8$ Hz), 3.15 (1H, dd, $J = 12.9, 5.4$ Hz), 3.02 (1H, dd, $J = 12.9, 5.4$ Hz), 2.81 (1H, d, $J = 16.8$ Hz); ^{13}C NMR (DMSO, 75 MHz) δ : 166.9, 165.5, 135.1, 129.7, 127.6, 126.1, 55.6, 43.7, 39.0。根据 ^1H NMR, ^{13}C NMR 和 MS, 可确定化合物 **11** 为环(甘-苯丙)二肽, 其数据与文献[14]基本一致。

化合物 **12**: 白色粉末, $\theta_{mp} > 270$ °C, FAB MS m/z 218。 ^1H NMR (DMSO- d_6 , 300 MHz) δ : 8.09 (1H, br s), 8.00 (1H, br s), 7.15 ~ 7.29 (5H, m), 4.16 ~ 4.17 (1H, m), 3.60 ~ 3.62 (1H, m), 3.06 ~ 3.10 (1H, dd, $J = 13.5, 4.5$ Hz), 3.18 ~ 3.21 (1H, dd, $J = 13.5, 4.5$ Hz), 0.77 (3H, d, $J = 7.0$ Hz); 根据 ^1H NMR, MS 及与文献[15]比对, 确定 **12** 为环(苯丙-丙)二肽。

4 结果与讨论

在 *Phomopsis* sp. ZZF08 中共分得 12 个酰胺类化合物, 并对其结构进行了解析, 证明其有产生大量酰胺类化合物的潜力。化合物 **1**, **2**, **3**, **4**, **5** 为首次从湛江红树林树皮内生真菌 *Phomopsis* sp. 中分离得到。

此外, 我们采用了 MTT 法做了所有化合物对人鼻咽癌细胞株 KB 和人鼻咽癌细胞耐药株 KBv200 的体外肿瘤细胞毒性实验。用酶标仪以试验波长为 570 nm, 参比波长为 450 nm 测定 A 值。

$$\text{杀伤率} = \frac{\text{对照孔 A 值} - \text{药物孔 A 值}}{\text{对照孔 A 值}}$$

绘制剂量反应回归曲线, 计算半数杀伤浓度 IC_{50} , 结果见表 1。

化合物 **2**, **3** 对 KB 细胞株和 KBv200 细胞株表现出了良好的抑制活性, 其 IC_{50} 不高于 1.41 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 其抗肿瘤作用机制有待进一步研究。

表 1 12 个化合物对 KB、KBv200 细胞的 IC_{50}

Table 1 *In vitro* IC_{50} value ($\mu\text{g}/\text{mL}$) of 12 compounds against KB and KBv200 cells $\mu\text{g}/\text{mL}$

化合物	KB	KBv200
1	28	16.8
2	<1.28	<1.28
3	<1.28	1.41
4,5,6,7,8,9,10,11,12	>50	>50

致谢: 本文的核磁共振谱、质谱等测试均在中山大学化学与化学工程学院或测试中心完成。

参考文献:

- [1] DESHMUKHS K, VEREKAR S A, BHAVE S V. Endophytic fungi: a reservoir of antibacterials[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2015, 5: 715.
- [2] CHOWDHARY K, KAUSHIK N. Fungal endophyte diversity and bioactivity in the indian medicinal plant *Ocimum sanctum* Linn [J]. *Plos One*, 2015, 10 (11): e141444.
- [3] MARTINEZ-LUIS S, CHERIGO L, HIGGINBOTHAM S, et al. Screening and evaluation of antiparasitic and *in vitro* anticancer activities of Panamanian endophytic fungi [J]. *Int Microbiol*, 2011, 14(2): 95 - 102.
- [4] CHITHRA S, JASIM B, JYOTHIS M, et al. Endophytic *Phomopsis* sp. colonization in *Oryza sativa* was found to result in plant growth promotion and piperine production [J]. *Physiol Plant*, 2017, 22. doi: 10.1111/ppl.12556. [Epub ahead of print]
- [5] ZHONG L Y, ZOU L, TANG X H, et al. Community of endophytic fungi from the medicinal and edible plant *Fagopyrum tataricum* and their antimicrobial activity[J]. *Tropical J Pharmaceutical Res*, 2017, 16(2): 387 - 396.
- [6] TAO Y W, ZENG X J, MOU C B, et al. ^1H and ^{13}C NMR assignments of three nitrogen containing compounds from the mangrove endophytic fungus (ZZF08) [J]. *Magn Reson Chem*, 2008, 46(5): 501 - 505.

- [7] TAO Y W, MOU C B, ZENG X J, et al. ^1H and ^{13}C NMR assignments of two new diaryl ethers phomopsis B and C from the mangrove endophytic fungus (ZZF08) [J]. *Magn Reson Chem*, 2008, 46: 761–764.
- [8] TAO Y W, WANG Y. 3-Hydroxy-4-(3-hydroxyphenyl)-2-quinolone monohydrate [J]. *Acta Cryst*, 2011, E67: o2195–o2196.
- [9] BUCHANAN M, HASHIMOTO T, ASAKAWA Y. Five 10-phenyl- [11]-cytochalasans from a *Daldinia fungal* species [J]. *Phytochemistry*, 1995, 40(1): 135–140.
- [10] LIN Y C, WU X Y, FENG S, et al. A novel N-cinnamoylcyclopeptide containing an allenic ether from the fungus *Xylaria* sp. (strain # 2508) from the South China Sea [J]. *Tetrahedron Lett*, 2001, 42(3): 449–451.
- [11] 匡云艳, 苏镜娉, 曾陇梅. 新的田野甾醇阿拉伯糖苷 [J]. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2002, 41(2): 64–67.
- KUANG Y Y, SU J Y, ZENG L M. A new campesterol arabinoside [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2002, 41(2): 64–67.
- [12] 李德海, 顾谦群, 朱伟明. 海洋放线菌 11014 中抗肿瘤活性成分的研究 I. 环二肽. [J]. *中国抗生素杂志*, 2005, 30(8): 449–452.
- LI D H, GU Q Q, ZHU W M, et al. Antitumor components from marine actinomycete 11014 I. Cyclic dipeptides [J]. *Chinese J Antibiotics*, 2005, 30(8): 449–452.
- [13] 杨建香, 黄日明, 邱声祥, 等. 南海红树林内生真菌 GX-3 代谢产物研究 [J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(11): 2558–2561.
- YANG J X, HUANG R M, QIU S X, et al. Study on the metabolites of mangrove endohytic fungus GX-3 from the South China Sea [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(11): 2558–2561.
- [14] 郭琼, 王剑, 姚俊华, 等. 一株南海珊瑚细菌 L-4 抗肿瘤活性次生代谢产物研究 [J]. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2013, 52(3): 77–82.
- GUO Q, WANG J, YAO J H, et al. Anti-tumour secondary metabolites from the coral-derived bacteria L-4 of South China Sea [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2013, 52(3): 77–82.
- [15] 邓芸, 胡谷平, 陈小洁, 等. 南海珊瑚内生细菌 *Pelomonas puraquae* sp. nov (B-2) 中环二肽类次生代谢产物研究 [J]. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2015, 54(3): 80–85.
- DENG Y, HU G P, CHEN X J, et al. Research on cyclo-dipeptides from the coral-derived endophytic bacteria *Pelomonas puraquae* sp. nov of South China Sea [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2015, 54(3): 80–85.

(上接第 72 页)

- [15] ZHANG X, SUN G, SHEN L, et al. Compression of encrypted images with multilayer decomposition [J]. *Multimed Tools Appl*, 2013, 78(3): 1–13.
- [16] ZHANG X, REN Y, SHEN L, et al. Compressing encrypted images with auxiliary information [J]. *IEEE Trans on Multimedia*, 2014, 16(5): 1327–1336.
- [17] WANG C, NI J. Compressing encrypted images using the lifting scheme [C] // *Proc 11th Int Conf Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2015.
- [18] KANG X, PENG A, XU X, et al. Performing scalable lossy compression on pixel encrypted images [J]. *Eurasip Journal on Image and Video Processing* 2013, 2013: 1–6.
- [19] HU R, LI X, YANG B. A new lossy compression scheme for encrypted gray-scale images [C] // *Proc of Intl Conf on Acoustic, Speech and Signal Processing* 2014, 2014: 7387–7390.
- [20] ZHOU J, AU O, ZHAI X G, et al. Scalable compression of stream cipher encrypted images through context-adaptive sampling [J]. *IEEE Trans on Inf Forensics and Security*, 2014, 9(1): 39–50.
- [21] KAMACI N, ALTUNBASAK Y, MERSEREAU R M. Frame bit allocation for the H. 264_AVC video coder via Cauchy-density-based rate and distortion models [J]. *IEEE Trans on Circuit System and Video Tech*, 2005, 15(8): 994–1006.
- [22] KANG W, LIU N. Compressing encrypted data and permutation cipher [J]. *Computer Science*, 2014: 1–17.
- [23] KANG W, LIU N. Compressing encrypted data: a permutation approach [C] // *Proceedings of the 50th Annual Allerton Conference on Communications, Control and Computing*, 2012: 1.
- [24] 谢小兰. DCT 域分布式视频编码中相关噪声模型研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- XIE X L. Research on correlation noise model in DCT domain distributed video coding [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [25] 王员根, 梁凡, 肖明明. 一种彩色图像 DC 系数的自适应水印算法 [J]. *中山大学学报 (自然科学版)*, 2010, 49(4): 43–48.
- WANG Y G, LIANG F, XIAO M M. Color image watermarking adaptively in DC coefficients [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2010, 49(4): 43–48.