

## 海南东寨港红树林内生真菌

### *Aspergillus fumigatus* SAS10 吡喃酮类代谢产物\*

郭思雨, 邹庭光, 朱静琳, 林慧美, 许婉毅, 黄洪波, 陶移文  
(广州医科大学药学院分子靶标和临床药理重点实验室/  
广州医科大学附属第五医院, 广东 广州 511436)

**摘要:** 采用大米培养基, 对无瓣海桑内生真菌 *Aspergillus fumigatus* SAS10 进行静置发酵, 运用硅胶柱色谱、Sephadex LH-20 凝胶柱色谱、以及半制备高效液相等分离手段对发酵产物进行分离纯化, 获得 7 个化合物。经分析质谱、核磁等波谱数据, 并通过与文献对比鉴定化合物为: aspergyllone (1), (*R*)-2-(羟基(苯基)甲基)-4H-吡喃-4-酮 (2), carbonarone A (3), campyrone A (4), campyrone C (5), asperfurandione A (6) 和 dibutylterephthalate (7)。所得 7 个化合物均为首次报道为烟曲霉次级代谢产物。

**关键词:** 红树林; 内生真菌; *Aspergillus fumigatus*; 次级代谢产物; 吡喃酮类化合物

**中图分类号:** O621.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2020) 04-0019-05

### Pyrone metabolites of a mangrove endophytic fungus

#### *Aspergillus fumigatus* SAS10 isolated from Dongzhai Harbor, Hainan

GUO Siyu, ZOU Tingguang, ZHU Jinglin, LIN Huimei, XU Wanyi, HUANG Hongbo, TAO Yiwen  
(Key Laboratory of Molecular Target & Clinical Pharmacology, School of Pharmaceutical Sciences and the Fifth Affiliated Hospital, Guangzhou Medical University, Guangzhou 511436, China)

**Abstract:** The mangrove endophytic fungus *Aspergillus fumigatus* SAS10 from *Sonneratia apetala* of Dongzhai harbor in Hainan was fermented by using rice medium. The extract of fermentation culture was subjected to column chromatography on silica gel, column chromatography on Sephadex LH-20, and semi-preparative HPLC. Seven compounds were obtained. By analyzing mass and NMR spectroscopic data, their structures were identified as aspergyllone (1), (*R*)-2-(hydroxy(phenyl)methyl)-4H-pyran-4-one (2), carbonarone A (3), campyrone A (4), campyrone C (5), asperfurandione A (6) and dibutylterephthalate (7), respectively. All of compounds obtained are reported firstly from secondary metabolites of the mangrove endophytic fungus *Aspergillus fumigatus*.

**Key words:** mangrove; endophytic fungus; *Aspergillus fumigatus*; secondary metabolites; pyrone

红树林内生真菌作为海洋真菌的第二大生态群落, 因其独特的生存环境造就了耐碱和耐盐的生理特性, 从而产生了多种陆源内生真菌所没有的结构多样和活性良好的新颖代谢产物<sup>[1]</sup>。红树

\* 收稿日期: 2020-01-09

**基金项目:** 广东省自然科学基金 (2018A0303130201, 2016A030313588); 广州医科大学大学生实验室开放项目 (广医大发 [2018] 27号No. 14); 广东省大学生创新训练项目立项项目 (201810570078, pdjh2020b0487); 广州医科大学大学生创新项目立项项目 (2017A079, 2018A103, 2018A107)

**作者简介:** 郭思雨 (1995年生), 女; **研究方向:** 天然药物化学; E-mail: 654512404@qq.com

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

林内生真菌的代谢产物为各种新颖抗生素、抗真菌药、免疫抑制剂和抗癌药等先导化合物的发现做出了重大贡献<sup>[2-3]</sup>。烟曲霉 (*Aspergillus fumigatus*) 属于丝孢菌纲 (Hyphomycetes)、丛梗孢目 (Hyphomycetales)、曲霉属 (*Aspergillus*) 真菌<sup>[4]</sup>, 其产生的有些代谢成分会造成人类和动物的肺部真菌疾病<sup>[5]</sup>, 该菌属分布世界各地, 土壤、腐败有机物内均可繁殖, 并且生存适应度高、繁殖能力强、代谢产物多样<sup>[6]</sup>。据文献报道, 从烟曲霉中产生的具有良好活性的次级代谢产物已经超过 220 多种<sup>[7]</sup>, 其主要的代谢产物有喹啉类衍生物、

二酮哌嗪类衍生物、生物碱类和烟曲霉素类等<sup>[8]</sup>。吡喃酮类化合物广泛存在于植物和微生物中, 其抗肿瘤活性和抗菌活性突出<sup>[9]</sup>, 因此受到研究者的关注<sup>[10-12]</sup>。本课题组对分离自海南省东寨港自然保护区红树植物无瓣海桑 *Aspergillus fumigatus*-SAS10 进行了发酵, 并对其代谢产物进行了分离纯化和结构鉴定工作, 获得了 5 个吡喃酮类化合物和两个酯类化合物。所得 7 个化合物首次报道为烟曲霉次级代谢产物, 丰富了烟曲霉代谢产物的种类。

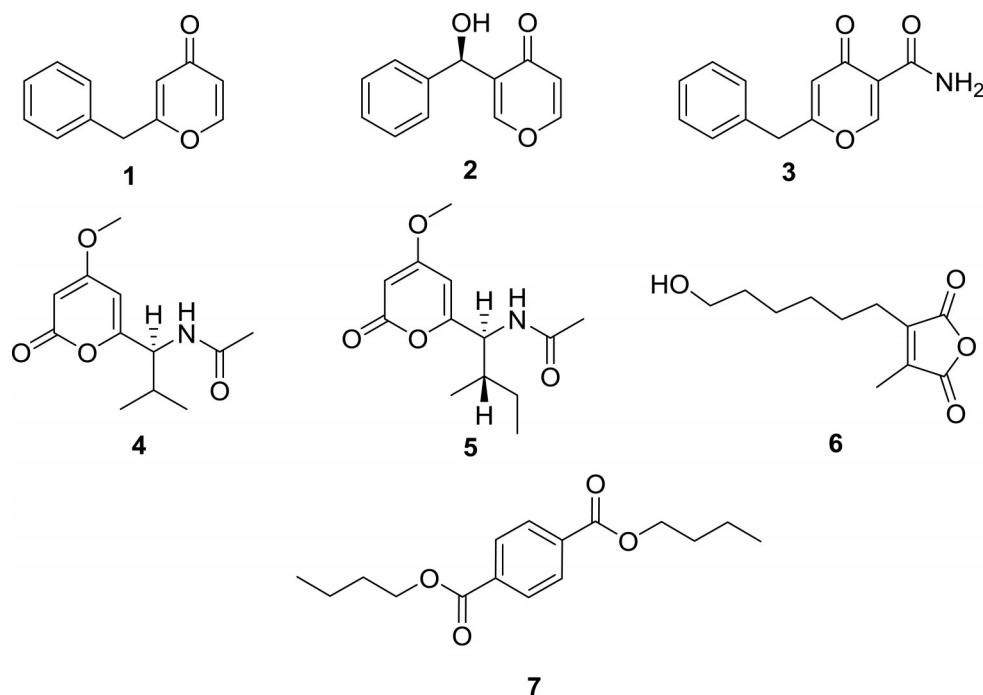


图 1 化合物 1~7 的结构

Fig. 1 The structure of compounds 1-7

## 1 仪器与材料

超净工作台 (苏州苏洁净化有限公司, SJ-CJ-2FDQ 型); 高压蒸汽灭菌锅 (日本松下健康医疗器械株式会社, MLS-3781L-PC); 旋转蒸发仪 (上海霄汉实业发展有限公司); 薄层色谱硅胶 HS-GF254 (青岛海洋化工厂有限公司); 色谱纯乙腈 (瑞典 Oceanpak 公司); JNM-ECZ 400NB 核磁共振波谱仪 (日本电子株式会社); 6460 三重四级杆液质联用质谱 (美国 Agilent 公司); Agilent 1260 Infinity 高效液相色谱仪 (美国 Agilent 公司); 半制备色谱柱 Sharpsil-AQ C-18, 250\*10.0 mm ID S-5  $\mu\text{m}$  (上海煊美实业)。菌株 SAS10 采自

海南东寨港红树林, 通过用真菌 ITS 引物 ITS1 和 ITS4 扩增真菌 18S DNA 序列, 所得到的序列在 GeneBank 中用 Blast 进行进化树相似性分析, 鉴定为 *Aspergillus fumigatus* 该菌种现保存于广州医科大学药学院。

## 2 发酵、提取与分离

菌株 *Aspergillus fumigatus* SAS10 用大米培养基在常温下进行发酵, 培养基配方为 1 L 三角瓶装大米 85 g, 加质量浓度为 2 g/L 的粗海盐溶液 160 mL, 经 121  $^{\circ}\text{C}$  灭菌 20 min 后接入种子液 5 mL, 静置培养 40 d。发酵产物用等量甲醇浸泡 48 h, 取上清液旋蒸至无甲醇, 重复 5 次, 将提取液浓缩至

5 L后,再用等体积的乙酸乙酯萃取3次,合并乙酸乙酯部位,旋干得乙酸乙酯得粗提物。粗提物经硅胶(200~300目)柱层析分离,采用石油醚-乙酸乙酯(体积比为100:0,80:20,67:33,50:50,33:67,20:80,0:100)系统等度洗脱,每个等度为三倍柱体积,相应获得7个(Fr. A-Fr. G)不同极性段的组分。各组分经检测后,对Fr. D通过半制备HPLC进行分离,流动相为乙腈-水体积比为60:40等度洗脱,流速2 mL/min,得到化合物3和6;将Fr. F通过半制备HPLC进行分离,流动相为乙腈-水体积比为60:40等度洗脱,流速2 mL/min,得到化合物5;将Fr. H进行正相硅胶柱层析,用石油醚-乙酸乙酯(体积比为50:50,40:60,30:70,20:80,10:90,0:100)梯度洗脱,相应获得组分Fr. H1-H6。对其中的Fr. H1、Fr. H2、Fr. H3、Fr. H4分别用半制备HPLC进行分离,流动相分别为乙腈-水,体积比为100:0、30:70、30:70和25:75,流速均为2 mL/min,相应得到化合物7、1、2和4。

### 3 结果与分析

#### 3.1 菌株鉴定

菌株SAS10经18S DNA序列测定,测序结果如下。

GGGGCTTCTACTGATCGAGGTCACCTTAGAAAA  
TAAAGTTGGGTGTTCGGCTGGCGCCGGCCGGGCCT  
ACAGAGCAGGTGACAAAGCCCCATACGCTCGAGG  
ACCGGACGCGGTGCCGCCGCTGCCTTTTCGGGCCCG  
TCCCCCGGGAGAGGGGGACGGGGGCCCAACACAC  
AAGCCGTGCTTGAGGGCAGCAATGACGCTCGGAC  
AGGCATGCCCCCGGAATACCAGGGGGCGCAATG  
TGCCTTCAAAGACTCGATGATTCCTGAATTCTGC  
AATTCACATTACTTATCGCATTTTCGCTGCGTTCTTC  
ATCGATGCCGGAACCAAGAGATCCGTTGTTGAAA  
GTTTTAACTGATTACGATAATCAACTCAGACTGCA  
TACTTTTCAGAACAGCGTTCATGTTGGGGTCTTCGG  
CGGGCGCGGGCCCGGGGGCGCAAGGCCTCCCCGG  
CGGCCGTCGAAACGGCGGGCCCGCCGAAGCAACA  
AGGTACGATAGACACGGGTGGGAGGTTGGACCCA  
GAGGGCCCTCACTCGGTAATGATCCTTCCGCAGGT  
TCACCTACGGAAACCTTGTTACGATTTTTTACTTC  
CA

将菌株SAS10与NCBI数据库进行比对后,选择数据库中具有较高序列相似性的已有序列进行BLAST,并使用MEGA7.0构建进化树(图2)。进化树结果表明SAS10属于 *Aspergillus fumigatus*。

#### 3.2 结构鉴定

化合物1:黄色粉末,24.0 mg。ESI-MS: $m/z$  187.2

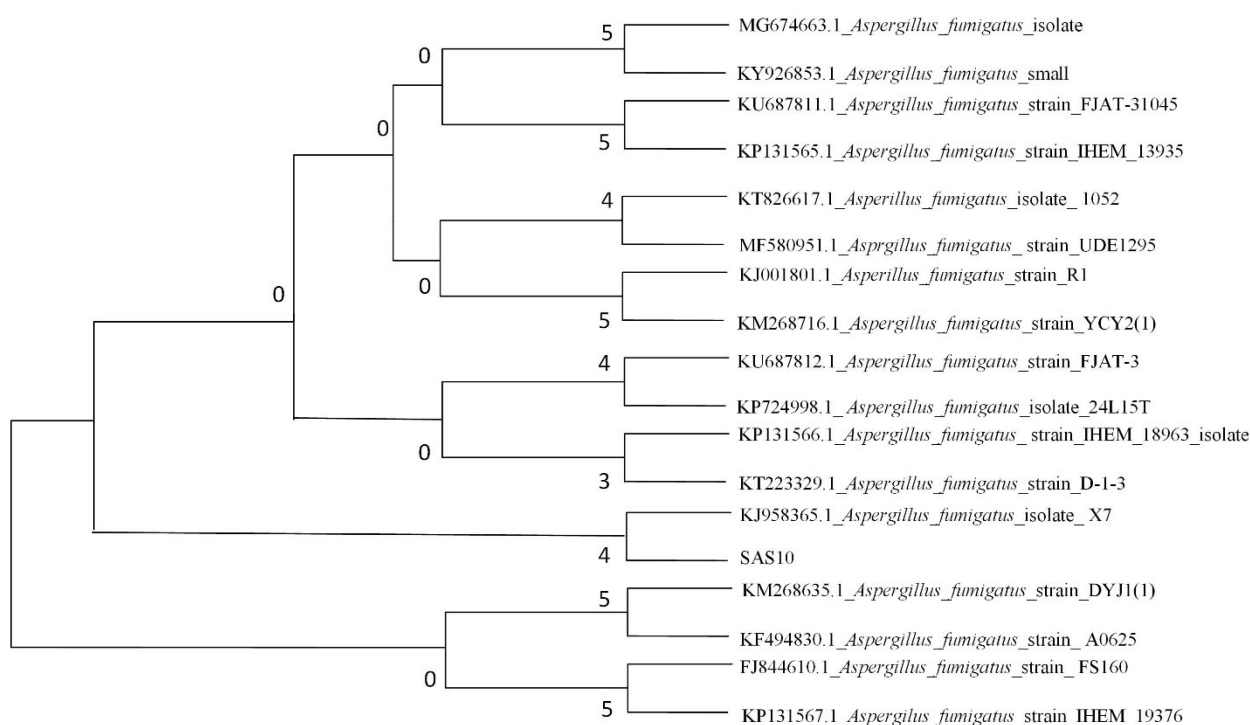


图2 SAS10的进化树

Fig. 2 The evolutionary tree of SAS10

[M+H]<sup>+</sup>, 结合 <sup>13</sup>C NMR 和 <sup>1</sup>H NMR 数据, 推断其分子式为 C<sub>12</sub>H<sub>10</sub>O<sub>2</sub>, 不饱和度为 8。详细核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz) δ: 8.07 (d, *J* = 5.7 Hz, 1H), 7.38~7.25 (m, 5H), 6.22 (dd, *J* = 5.8, 2.4 Hz, 1H), 6.18 (d, *J* = 2.4 Hz, 1H), 3.89 (s, 2H); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz) δ: 177.9, 168.1, 156.5, 135.7, 129.0(2C), 128.7(2C), 127.1, 115.9, 114.8, 38.8。与文献 [13] 数据基本一致, 故化合物 1 鉴定为 aspergyllone。

化合物 2: 白色不定型粉末, 3.4 mg。ESI-MS: *m/z* 203.1 [M+H]<sup>+</sup>, [α]<sub>D</sub><sup>20</sup> = +76.6 (0.1 mol/L, CH<sub>3</sub>OH), 结合 <sup>13</sup>C NMR 和 <sup>1</sup>H NMR 数据, 推断其分子式为 C<sub>12</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub>, 不饱和度为 8。详细核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz) δ: 8.05 (d, *J* = 5.8 Hz, 1H), 7.43~7.28 (m, 5H), 6.42 (d, *J* = 2.6 Hz, 2H), 6.21 (dd, *J* = 5.8, 2.6 Hz, 1H), 5.48 (d, *J* = 2.3 Hz, 1H); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz) δ: 177.7, 169.9, 156.1, 140.3, 128.3(2C), 127.9, 126.6(2C), 116.0, 112.0, 71.0。与文献 [14] 数据基本一致, 故化合物 2 鉴定为 (*R*)-2-(hydroxy(phenyl)methyl)-4H-pyran-4-one。

化合物 3: 黄色粉末, 5.2 mg。ESI-MS: *m/z* 230.1 [M+H]<sup>+</sup>, 结合 <sup>13</sup>C NMR 和 <sup>1</sup>H NMR 数据, 推断其分子式为 C<sub>13</sub>H<sub>11</sub>NO<sub>3</sub>, 不饱和度为 9。详细核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz) δ: 8.79 (s, 1H), 8.55 (s, 1H), 7.77 (s, 1H), 7.38~7.28 (m, 5H), 6.43 (s, 1H), 3.98 (s, 2H); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz) δ: 177.7, 168.8, 163.0, 162.2, 135.3, 129.1(2C), 128.8(2C), 127.3, 119.3, 115.5, 38.3。与文献 [15] 数据基本一致, 故化合物 3 鉴定为 carbonarone A。

化合物 4: 棕色粉末, 1.9 mg。ESI-MS: *m/z* 262.1 [M+Na]<sup>+</sup>, [α]<sub>D</sub><sup>20</sup> = -37.2 (0.1 mol/L, CH<sub>3</sub>OH), 结合 <sup>13</sup>C NMR 和 <sup>1</sup>H NMR 数据, 推断其分子式为 C<sub>12</sub>H<sub>17</sub>NO<sub>4</sub>, 不饱和度为 5。详细核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz) δ: 8.26 (d, *J* = 8.2 Hz, 1H), 6.09 (d, *J* = 2.2 Hz, 1H), 5.57 (d, *J* = 2.2 Hz, 1H), 4.34 (t, *J* = 8.2 Hz, 1H), 3.80 (s, 3H), 1.88 (s, 3H), 0.88 (d, *J* = 6.8 Hz, 3H), 0.82 (d, *J* = 6.8 Hz, 3H); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz) δ: 170.8, 169.4, 163.9, 163.3, 99.8, 87.9, 56.5, 56.2, 29.9, 22.4, 19.2, 18.4。与文献 [16] 数据基本一致, 化合物 4 鉴定为 campyrone A。

化合物 5: 黄色粉末, 3.5 mg。ESI-MS: *m/z* 254.1 [M+H]<sup>+</sup>, [α]<sub>D</sub><sup>20</sup> = -17.3 (0.1 mol/L, CH<sub>3</sub>OH),

结合 <sup>13</sup>C NMR 和 <sup>1</sup>H NMR 数据, 推断其分子式为 C<sub>13</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>4</sub>, 不饱和度为 5。详细核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz) δ: 8.28 (d, *J* = 8.5 Hz, 1H), 6.09 (d, *J* = 2.2 Hz, 1H), 5.56 (d, *J* = 2.2 Hz, 1H), 4.39 (t, *J* = 8.5 Hz, 1H), 3.80 (s, 3H), 1.86 (d, *J* = 3.2 Hz, 3H), 1.83~1.75 (m, 1H), 1.45 (m, 1H), 1.17~1.06 (m, 1H), 0.83 (t, *J* = 7.4 Hz, 3H), 0.78 (d, *J* = 6.8 Hz, 3H); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz) δ: 170.7, 169.3, 163.9, 163.3, 99.9, 87.9, 56.4, 54.9, 36.0, 24.6, 22.4, 15.5, 10.8。与文献 [16] 数据基本一致, 化合物 5 鉴定为 campyrone C。

化合物 6: 黄色油状, 4.7 mg。ESI-MS: *m/z* 235.1 [M+Na]<sup>+</sup>, 结合 <sup>13</sup>C NMR 和 <sup>1</sup>H NMR 数据, 推断其分子式为 C<sub>11</sub>H<sub>16</sub>O<sub>4</sub>, 不饱和度为 4。详细核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz) δ: 4.36 (s, 1H), 3.37 (s, 2H), 2.40 (t, *J* = 7.5 Hz, 2H), 1.99 (s, 3H), 1.51~1.45 (m, 2H), 1.43~1.35 (m, 2H), 1.32~1.26 (m, 4H); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz) δ: 166.5, 166.3, 143.5, 140.9, 60.6, 32.4, 28.5, 27.0, 25.2, 23.6, 9.3。与文献 [17] 数据基本一致, 化合物 6 鉴定为 asperfurandione A。

化合物 7: 棕色油状, 3.1 mg。ESI-MS: *m/z* 279.1 [M+H]<sup>+</sup>, 结合 <sup>13</sup>C NMR 和 <sup>1</sup>H NMR 数据, 推断其分子式为 C<sub>16</sub>H<sub>22</sub>O<sub>4</sub>, 不饱和度为 6, 详细核磁数据如下: <sup>1</sup>H NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 400 MHz) δ: 7.71 (m, 2H), 7.66 (m, 2H), 4.28~4.16 (m, 4H), 1.70~1.59 (m, 4H), 1.43~1.31 (m, 4H), 0.91 (t, *J* = 7.4 Hz, 6H); <sup>13</sup>C NMR (DMSO-*d*<sub>6</sub>, 100 MHz) δ: 166.9, 131.7, 131.5, 128.6, 65.0, 30.0, 18.6, 13.5。与文献 [18] 数据基本一致, 化合物 7 鉴定为 dibutylterephthalate。

## 4 结果和讨论

对红树林植物无瓣海桑的内生真菌 *Aspergillus fumigatus* SAS10 进行发酵, 从其发酵粗提取物中共分离并鉴定 7 个化合物, 5 个吡喃酮类和两个酯类化合物, 说明该菌株有很大产生吡喃酮类化合物的潜力。文献报道, 该类化合物对多种致病菌和肿瘤细胞有较好的抑制活性, 如化合物 1 对热带念珠菌 (*Candida tropicalis*)、近平滑念珠菌 (ATCC 22019) 有中等强度的抗真菌活性<sup>[13]</sup>; 化合物 3 对白色念珠菌 (*Candida albicans*) 有中等强度的抑菌活性, 对克鲁斯念珠菌 (*Candida krusei*) 有较强的抑制活性, 也显示出对植物病原性细菌 (*Dickeya*

*solani* van der Wolf) 具有一定的抑制活性<sup>[13]</sup>; 同时, 化合物 1 和 2 对人体胰腺癌细胞表现出中等强度的抑制活性<sup>[14]</sup>, 化合物 3 对 K562 细胞有中度抗增殖活性<sup>[15]</sup>; 化合物 6 显示对芽孢杆菌、新型隐球菌和白色念珠菌有中等抑菌活性<sup>[17]</sup>。7 个化合物

首次报道为南海红树林内生真菌烟曲霉次级代谢产物, 为吡喃酮类化合物的获取提供了新来源。后续, 我们将继续挖掘红树林内生真菌的抗肿瘤、抗菌等活性物质, 获得新的药物先导化合物。

#### 参考文献:

- [1] 黄敬瑜, 张楚军, 姚瑜龙等. 植物内生菌生物抗菌活性物质研究进展[J]. 生物工程学报, 2017, 33(2): 178 - 186.  
HUANG J Y, ZHANG C J, YAO Y L, et al. Progress in antimicrobial substances of endophytes [J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2017, 33(2): 178 - 186.
- [2] CUI J L, GUO T T, REN Z X, et al. Diversity and antioxidant activity of culturable endophytic fungi from alpine plants of *Rhodiola crenulata*, *R. angusta*, and *R. sachalinensis* [J]. Public Library of Science, 2014, 10(3): e0118204.
- [3] 邓祖军, 曹理想, 周世宁, 等. 红树林内生真菌的分离及代谢产物生物活性的初步研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(2): 100 - 104.  
DENG Z J, CAO L X, ZHOU S N, et al. Isolation and metabolite bioactivities of mangrove fungal endophytes [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2010, 49(2): 100 - 104.
- [4] XU Z Y, WU X, LI G, et al. Pestalotiopsis B, a new isocoumarinderivative from the mangrove endophytic fungus *Pestalotiopsis* sp. HHL101 [J]. Natural Product Research, 2019: 1 - 6.
- [5] 李冬艳, 王晶, 陈科良, 等. 来源于印度洋深海区的烟曲霉次生代谢产物的研究[J]. 海洋科学, 2019, 43(8): 43 - 49.  
LI D Y, WANG J, CHEN K L, et al. Study of the secondary metabolites of *Aspergillus fumigatus* from the deepsea zone of the Indian Ocean [J]. Marine Sciences, 2019, 43(8): 43 - 49.
- [6] PAULUSSEN C, HALLSWORTH J E, NIERMAN W C, et al. Ecology of aspergillosis: Insights into the pathogenic potency of *Aspergillus fumigatus* and some other *Aspergillus* species [J]. Microb Biotechnol, 2017, 10(1): 296 - 322.
- [7] JENS C, CHRISTIAN R, KRISTIAN F. Metabolomics of *Aspergillus fumigatus* [J]. Medical Mycology, 2009, 47(1): 53 - 71.
- [8] 陈彦君, 祝丽君, 于红梅, 等. 一株烟曲霉抗植物病原菌活性次生代谢产物的研究[J]. 中草药, 2019, 50(22): 5400 - 5404.  
CHEN Y J, ZHU L J, YU H M, et al. A new alkaloid from endophytic fungus *Aspergillus fumigatus* of *Euphorbia royleana* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2019, 50(22): 5400-5404.
- [9] 郑旭, 李慧慧, 李琦, 等. 几种天然吡喃酮衍生物的抗肿瘤活性分析[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版) 2016, 35(1), 100-102.  
ZHENG X, LI H H, LI Q, et al. Anti-tumor activity analysis of several natural pyrones derivatives [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University (Natural Sciences), 2016, 35(1): 100-102.
- [10] BREUER N, GRUBER I, JANIAC C, et al. Emission solvatochromic, solid-state and aggregation-induced emissive alpha-pyrones and emission-tuneable 1H-pyridines by michael addition-cyclocondensation sequences [J]. Beilstein Journal of Organic Chemistry, 2019, 15: 2684 - 2703.
- [11] PAN L, YANG L, HUANG Y, et al. Combinatorial enzymatic synthesis of unnatural long-chain beta-branch pyrones by a highly promiscuous enzyme [J]. ACS Omega, 2019, 4(25): 21078 - 21082.
- [12] TAN C Y, WANG F, ANAYA-EUGENIO G D, et al. Alpha-pyrone and sterol constituents of penicillium aurantiacobrunneum, a fungal associate of the lichen niebla homalea [J]. Journal Natural Product, 2017, 82(9): 2529 - 2536.
- [13] PADHI S, MASI M, SUJOGYA K, et al. Antimicrobial secondary metabolites of an endolichenic *Aspergillus niger* isolated from lichen thallus of Parmotrema ravum [J]. Natural Product Research, 2019: 1-8.
- [14] XU K, GUO C, SHI D, et al. Discovery of natural dimeric naphthopyrones as potential cytotoxic agents through ROS-mediated apoptotic pathway [J]. Marine Drugs, 2019, 17(4): e207.
- [15] ZHANG Y, ZHU T, FANG Y, et al. Carbonarones A and B, new bioactive g-Pyrone and a-Pyridone derivatives from the marine-derived fungus *Aspergillus carbonarius* [J]. The Journal of Antibiotics, 2007, 60(2): 153 - 157.
- [16] FERDINAND M T, MICHEL D K T, BIRGER D, et al. Structures and absolute configuration of threepyrone from an endophytic fungus *Aspergillus niger* [J]. Tetrahedron. 69: 7147-7151.
- [17] DING L, XU P, LI T, et al. Asperfurandiones A and B, two antifungal furandione analogs from a marine-derived fungus *Aspergillus versicolor* [J]. Natural Product Research, 2019, 33(23): 3404 - 3408.
- [18] 张晓琦, 杨婷婷, 李国强, 等. 川山橙枝叶的化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(10): 178 - 186.  
ZHANG J, YANG T T, LI G Q, et al. Chemical constituents from twigs and leaves of *Melodinus hemsleyanus* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2013, 38(10): 178 - 186.

(责任编辑 张冰)