

## 付少彬

遵义医科大学教授，硕士研究生导师。“贵州省高层次创新型人才“千”层次人才”、“贵州省首批创新创业导师”。主要从事地衣型真菌、大型真菌的资源调查及地衣内生菌、食药真菌的化学成分研究。贵州省药学会药学教育与科普专业委员会委员；遵义医科大学药理学学位评定分委员会委员；《Modern Chemistry》和《SCIREA Journal of Chemistry》期刊编委。第一作者或通讯作者在《Tetrahedron》《RSC Advances》《Fitoterapia》等国内外学术刊物发表论文 20 余篇，授权发明专利 6 项。

# 一株地衣内生真菌 *Daldinia childiae* 的化学成分

周璇<sup>1</sup> 杨彩玲<sup>1</sup> 孟庆峰<sup>2</sup> 刘乐<sup>1</sup> 付少彬<sup>1\*</sup>

①遵义医科大学药学院 贵州 遵义 563000

②遵义医科大学公共卫生学院 贵州 遵义 563000

**摘要：**本研究对分离自星点梅衣属地衣 *Punctelia* sp. 的一株内生真菌蔡氏轮层炭壳菌 *Daldinia childiae* 进行大米固体发酵培养，乙酸乙酯萃取发酵产物，采用硅胶柱色谱法、重结晶等方法分离纯化次生代谢产物，结合核磁共振波谱与质谱技术对单体化合物进行结构解析，运用 DPPH 法测定化合物的自由基清除能力。结果分离得到 8 个化合物，分别鉴定为 4-hydroxy-benzeneethanol (1)、4-methoxy-5-carbomethoxy-6-pentyl-2H-pyran-2-one (2)、1-(2,6-dihydroxyphenyl)butan-1-one (3)、8-methoxy-1-naphthol (4)、1,8-dimethoxynaphthalene (5)、methyl 2-undecenoate-3-undecanoate-cyclohexyl-1,4-dienyl ester (6)、uracil (7) 和 acetic acid (8)，化合物 1、6 和 8 均首次从轮层炭壳菌属 *Daldinia* 中分离得到；化合物 4 在浓度为 3mg/mL 时具有较强的自由基清除活性，化合物 3 和 5 具有轻微的自由基清除能力。本研究为进一步挖掘轮层炭壳菌属的代谢产物奠定基础。

**关键词：**轮层炭壳菌，萃取，分离，鉴定

[引用本文] 周璇, 杨彩玲, 孟庆峰, 刘乐, 付少彬, 2021. 一株地衣内生真菌 *Daldinia childiae* 的化学成分. 菌物学报, 40(1): 40-47

Zhou X, Yang CL, Meng QF, Liu L, Fu SB, 2021. Chemical constituents of an endolichenic fungus *Daldinia childiae* (Ascomycota). Mycosystema, 40(1): 40-47

\* Corresponding author. E-mail: fushb@126.com

Received: 2020-03-19, accepted: 2020-04-20

# Chemical constituents of an endolichenic fungus *Daldinia childiae* (Ascomycota)

ZHOU Xuan<sup>1</sup> YANG Cai-Ling<sup>1</sup> MENG Qing-Feng<sup>2</sup> LIU Le<sup>1</sup> FU Shao-Bin<sup>1✉</sup>

①Department of Pharmacy, Zunyi Medical University, Zunyi, Guizhou 563000, China

②College of Public Health, Zunyi Medical University, Zunyi, Guizhou 563000, China

**Abstract:** The endolichenic fungus *Daldinia childiae* isolated from *Punctelia* sp. was cultivated by rice solid medium and the fermentative product was extracted with ethyl acetate. The secondary metabolites purified by the method of silica gel column chromatography and recrystallization were identified by combining nuclear magnetic resonance spectroscopy with mass spectrometry. The free radical scavenging ability of the compounds was determined by DPPH method. Eight compounds were isolated from *Daldinia childiae*, and they were determined as 4-hydroxybenzeneethanol(**1**), 4-methoxy-5-car-bomethoxy-6-pentyl-2H-pyran-2-one(**2**), 1-(2,6-dihydroxyphenyl)butan-1-one(**3**), 8-methoxy-1-naphthol(**4**), 1,8-dimethoxynaphthalene(**5**), methyl 2-undecenoate-3-undecanoate-cyclohexyl-1,4-dienyl ester(**6**), uracil(**7**) and acetic acid (**8**). The compounds **1**, **6** and **8** were isolated from the genus of *Daldinia* for the first time. The compound **4** under concentration of 3mg/mL showed significant activity of free radical scavenging. The compound **3** and **5** exhibited slight free radical scavenging ability.

**Key words:** *Daldinia*, extraction, separation, identification

微生物作为天然产物的重要源泉，在自然界中分布广泛，包括真菌、细菌、病毒，以及一些小型的原生生物、显微藻类等生物群体，在进化过程中可以产生大量结构新颖多变的代谢产物，是一个巨大的分子宝库（张勇慧 2018）。地衣是地衣型真菌和绿藻或蓝细菌的结合，菌类从藻类获得光合作用制造的有机物，藻类则依靠菌类提供水、无机盐和二氧化碳，彼此结成特殊的互惠共生关系（彭霄鹏和温仕良 2019）。除了共生真菌伴侣外，地衣体中还存在内生真菌，它们是一大类之前被忽略的真菌类群，生活在内髓层部位，不引起明显病理症状（元超等 2019）。近年来的研究显示，地衣内生真菌作为隐藏在地衣体内的微生物仓库，其发酵

产物具有丰富的化学结构多样性，是新颖化合物的重要来源（Yang *et al.* 2018）。

轮层炭壳菌属 *Daldinia*，隶属于子囊菌门 Ascomycota，核菌纲 Pyrenomycetes，炭角菌目 Xylariales，炭角菌科 Xylariaceae，是一类重要的木材腐朽菌，最早于 1863 年被发现（Cesati & De 1863）。据报道，轮层炭壳菌属 *Daldinia* 内生真菌能够产生多种结构新颖的次级代谢产物（梅荣清等 2019），例如从该属真菌中发现具有新型结构的四氢萘酮类（Liao *et al.* 2019）、色原酮类（Luo *et al.* 2018）、萘醌类（Kamauchi *et al.* 2018）、细胞松弛素类（Yang *et al.* 2018）、异香豆素类（Quang *et al.* 2013）等化合物，使其成为天然产物化学研究的新热点之一；但这些

内生真菌大多从植物中分离得到,从地衣中分离得到轮层炭壳菌属 *Daldinia* 内生真菌的相关报道较少。

本课题组首次从一星点梅衣属地衣 *Punctelia* sp. 中分离了一株轮层炭壳菌属内生真菌蔡氏轮层炭壳菌 *Daldinia childiae*, 为了进一步挖掘 *D. childiae* 次级代谢产物, 本研究对其固体发酵产物进行了初步研究, 已期为开发该属菌株可能存在的应用价值奠定基础。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试材料

**1.1.1 菌株:** 星点梅衣属地衣 *Punctelia* sp. 于 2018 年 3 月采集自贵州省都匀市斗篷山景区, 从中分离获得一株内生真菌, 标本号为 DPS-165-9, 结合形态特征并在 GenBank 中通过 ITS 序列比对, 鉴定为蔡氏轮层炭壳菌 *Daldinia childiae* (GenBank 号: MT139887)。该菌株现保存于中国科学院微生物研究所菌物保藏中心 (CGMCC), 保存编号 CGMCC No. 17469, 菌种 PDA 斜面保藏于 4℃ 冰箱。

**1.1.2 培养基:** PDA 培养基用于地衣内生真菌的分离纯化, PDB 培养基用于菌株的孵育, 大米固体培养基用于菌株的发酵培养。PDA 培养基配方: 马铃薯 200g, 葡萄糖 20g, 琼脂 15g, 蒸馏水 1 000mL, pH 自然; 其配方中不加入琼脂, 即得 PDB 培养基。

**1.1.3 主要试剂和仪器:** 石油醚、二氯甲烷、乙酸乙酯、四氢呋喃等有机试剂 (分析纯, 天津富宇精细化工有限公司); GF<sub>254</sub> 薄层色谱硅胶板, 柱层析硅胶 (100–200 目, 300–400 目) (青岛海洋化工厂), DPPH (1,1-二苯基-2-三硝基苯肼, C<sub>18</sub>H<sub>12</sub>N<sub>5</sub>O<sub>6</sub>) 和维生素 C (上海源叶生物科技有限公司)。

SW-CJ-IDLRH-250 型立式单人净化工作

台购自苏州净化设备有限公司; TS-2102C 型恒温振荡培养箱购自上海天呈科技有限公司; BXM-30R 型压力蒸汽灭菌锅购自上海博迅实业有限公司医疗设备厂; EYELA-N-110 型旋转蒸发仪购自日本东京理化器械株式会社; Agilent DD2400-MR 型核磁共振仪购自美国 Agilent 公司; ZF-7 型三相紫外分析仪购自上海嘉鹏科技有限公司; Agilent 6210 ESI/TOF 型质谱仪购自美国 Agilent 公司; 多功能酶标仪购自赛默飞世尔科技有限公司。

### 1.2 方法

**1.2.1 菌株的活化与种子液的培养:** 将保存在 PDA 斜面的菌株接种至 PDA 平板上, 25℃ 培养 4d, 活化 2–3 代; 用接种棒将活化菌株接种于 15 个 250mL 锥形瓶中 (每瓶装有 100mL PDB 培养基, 121℃ 高压蒸汽灭菌 20min), 在室温摇床上振荡培养 4d, 转速 150r/min, 获得种子液。

**1.2.2 菌株的发酵:** 配制大米固体培养基 60 瓶 (500mL 三角瓶, 70g 大米, 200mL 水, 3.5g 葡萄糖), 121℃ 高压蒸汽灭菌 20min, 冷却至室温备用; 在无菌条件下, 每瓶接种 20mL 种子液, 室温下静置培养 30d。

**1.2.3 菌株的提取与分离:** 将静置培养 30d 的菌株发酵物捣碎后, 乙酸乙酯浸泡过夜, 提取 3 次, 合并滤液, 减压浓缩, 获得粗提物 20.0g。粗提物以石油醚/乙酸乙酯系统 (100/0, 100/10, 100/20, 100/50, 50/100, 0/100, V/V) 为溶剂进行梯度洗脱, 得到 6 个粗组分 (Fr.1–Fr.6)。Fr.1 经硅胶柱层析, 石油醚洗脱得化合物 **4** (1.3g) 和组分 Fr.1-1, Fr.1-1 采用重结晶的方法得到化合物 **5** (1.0g); Fr.2 用硅胶柱层析 (石油醚:二氯甲烷=1:1, V/V) 等度洗脱得化合物 **6** (159.4mg); Fr.3 经硅胶柱层析, 二氯甲烷洗脱得化合物 **2** (7mg), 用硅胶柱层析 (石油醚:二氯甲烷

=1:1, V/V) 等度洗脱得化合物 **3** (28.1mg); Fr.4 用硅胶柱层析 (石油醚:乙酸乙酯=2:1, V/V) 等度洗脱得化合物 **1** (35.7mg); Fr.5 用硅胶柱层析 (石油醚:乙酸乙酯=3:1, V/V) 等度洗脱得组分 Fr.5-1, Fr.5-1 再经过硅胶柱层析 (石油醚:四氢呋喃=1:1, V/V) 洗脱得化合物 **8** (50.0mg); Fr.6 用硅胶柱层析 (石油醚:乙酸乙酯=1:1, V/V) 等度洗脱得化合物 Fr.6-1, Fr.6-1 再经过硅胶柱层析 (石油醚:四氢呋喃=1:1, V/V) 洗脱得化合物 **7** (25.0mg)。

**1.2.4** 自由基清除活性实验: (1) 反应液的配制: 称取 4mg DPPH 用甲醇溶解并定容于 50mL 容量瓶中得 DPPH 储备液, 4°C 冰箱避光保存。取 DPPH 储备液 15mL 置于 25mL 容量瓶, 用甲醇稀释至刻度, 摇匀, 避光静置, 得 DPPH 工作液。(2) 样品溶液和 Vc 溶液的配制: 用微量移液器吸取 1mL 甲醇溶解称量好的 3mg 各样品及 Vc, 采用二倍稀释法对初始浓度的样品和 Vc 进行稀释得到 5 个浓度梯度的样品溶液和 Vc 溶液。(3) 吸光度值的测定: 参考李媛媛等 (2017) 的方法, 加以适当修改。在 96 孔板中依次加入 200 $\mu$ L DPPH 工作液和 5 $\mu$ L 不同浓度的样品溶液和 Vc 溶液, 充分混匀, 室温下测定波长 517nm 处的吸光度, 对照组用甲醇代替样品溶液。按照计算公式: 清除率 (%) =  $[(A_{\text{对照组}} - A_{\text{样品组}}) / A_{\text{对照组}}] \times 100$ , 对所得的数据进行处理分析。

## 2 结果与分析

对蔡氏轮层炭壳菌 *Daldinia childiae* 进行大米固体发酵培养, 通过硅胶柱色谱和重结晶的方法对乙酸乙酯提取物进行分离纯化, 得到 8 个单体化合物 (图 1), 分别鉴定为: 4-hydroxy-benzeneethanol (**1**)、4-methoxy-5-car-bomethoxy-6-pentyl-2H-pyra

n-2-one (**2**)、1-(2,6-dihydroxyphenyl)butan-1-one (**3**)、8-methoxy-1-naphthol (**4**)、1,8-dimethoxynaphthalene (**5**)、methyl 2-undecanoate-3-undecanoate-cyclohexyl-1,4-dienyl ester (**6**)、uracil (**7**) 和 acetic acid (**8**)。

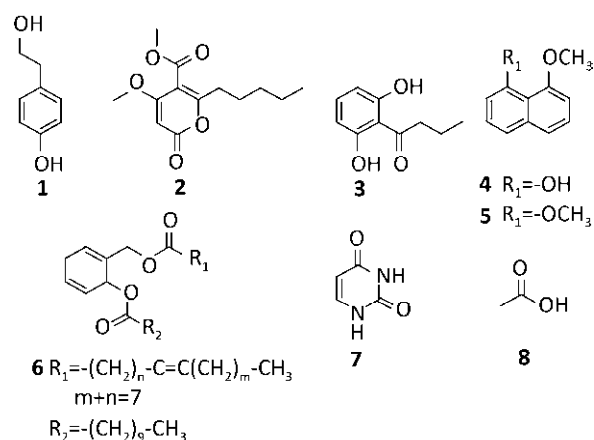


图 1 化合物 1-8 的结构

Fig. 1 The structures of compounds 1-8.

### 2.1 化合物 1 的结构鉴定

黄色液体; <sup>1</sup>H-NMR (400MHz, CD<sub>3</sub>OD)  $\delta$ : 7.01 (2H, dd,  $J=8.4$ , 2.0Hz, H-2', 6'), 6.69 (2H, dd,  $J=8.4$ , 2.0Hz, H-3', 5'), 3.66 (2H, t,  $J=7.2$ Hz, H-1), 2.72 (2H, t,  $J=7.2$ Hz, H-2); <sup>13</sup>C-NMR (100MHz, CD<sub>3</sub>OD)  $\delta$ : 155.3 (s, C-4'), 131.2 (s, C-1'), 131.0 (d, C-2', 6'), 114.7 (d, C-3', 5'), 63.2 (t, C-1), 38.0 (t, C-2)。以上数据与袁莉等 (2016) 的报道基本一致, 故化合物 **1** 鉴定为 4-hydroxy-benzeneethanol。

### 2.2 化合物 2 的结构鉴定

黄色油状; HR-ESI-MS  $m/z$  255.1232[M+H]<sup>+</sup>, 277.1052[M+Na]<sup>+</sup>。<sup>1</sup>H-NMR (400MHz, CDCl<sub>3</sub>)  $\delta$ : 5.43 (1H, s, H-3), 3.81 (3H, s, 4-OCH<sub>3</sub>), 3.83 (3H, s, 12-OCH<sub>3</sub>), 2.50 (2H, t,  $J=7.6$ Hz, H-7), 1.67 (4H, dd,  $J=7.2$ , 4.4Hz, H-8, H-9), 1.29 (2H, m, H-10), 0.86 (3H, t, H-11);

$^{13}\text{C}$ -NMR (100MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 168.3 (C-4), 167.0 (C-6), 164.5 (C-12), 163.1 (C-2), 108.8 (C-3), 87.9 (C-5), 56.7 (4-OCH<sub>3</sub>), 52.9 (12-OCH<sub>3</sub>), 32.6 (C-7), 31.4 (C-8), 27.2 (C-9), 22.4 (C-10), 14.1 (C-11); HMBC 谱中, H-7 与 C-6 相关, -OCH<sub>3</sub> 与 C-4 相关, -OCH<sub>3</sub> 与 C-12 相关, 以上数据与 Quang *et al.* (2002) 的报道基本一致, 故化合物 **2** 鉴定为 4-methoxy-5-carbomethoxy-6-pentyl-2H-pyran-2-one。

### 2.3 化合物 3 的结构鉴定

黄色粉末;  $^1\text{H}$ -NMR (400MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 9.80 (2H, s, Ar-OH) 6.38 (2H, d,  $J=8.0\text{Hz}$ , H-4, H-6), 7.22 (1H, dd, H-5), 3.10 (2H, t,  $J=7.2\text{Hz}$ , H-2'), 1.79 (2H, m,  $J=7.2\text{Hz}$ , H-3'), 0.98 (3H, t, H-4');  $^{13}\text{C}$ -NMR (100MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 207.9 (C-1'), 161.2 (C-1, C-3), 135.7 (C-5), 110.0 (C-2), 108.3 (C-4, C-6), 46.7 (C-2'), 17.8 (C-3'), 13.9 (C-4')。以上数据与 Dai *et al.* (2006) 的报道基本一致, 故化合物 **3** 鉴定为 1-(2,6-dihydroxyphenyl)butan-1-one。

### 2.4 化合物 4 的结构鉴定

白色固体;  $^1\text{H}$ -NMR (400MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 9.37 (1H, s, 1-OH), 7.41 (1H, d,  $J=8.3\text{Hz}$ , H-4), 7.36-7.28 (3H, m, H-3, H-5, H-6), 6.95 (1H, d,  $J=7.5\text{Hz}$ , H-7), 6.63 (1H, d,  $J=8.0\text{Hz}$ , H-2), 4.13 (3H, s, 8-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$ -NMR (100MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 156.0 (C-8), 154.5 (C-1), 136.7 (C-4a), 127.6 (C-3), 125.6 (C-6), 121.6 (C-5), 118.7 (C-4), 114.9 (C-8a), 110.3 (C-2), 103.7 (C-7), 55.7 (8-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与李冬利等 (2011) 的报道基本一致, 故化合物 **4** 鉴定为 8-methoxy-1-naphthol。

### 2.5 化合物 5 的结构鉴定

无色针晶;  $^1\text{H}$ -NMR (400MHz,  $\text{CDCl}_3$ )

$\delta$ : 7.37 (2H, dd,  $J=8.2, 1.4\text{Hz}$ , H-4, H-5), 7.35 (2H, dd,  $J=8.2, 8.2\text{Hz}$ , H-3, H-6), 6.84 (2H, dd,  $J=8.2, 1.4\text{Hz}$ , H-2, H-7), 3.97 (6H, s, 1-OCH<sub>3</sub>, 8-OCH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$ -NMR (100MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 157.3 (C-1, C-8), 137.6 (C-4a), 126.5 (C-3, C-6), 121.0 (C-4, C-5), 117.8 (C-8a), 106.5 (C-2, C-7), 56.6 (1-OCH<sub>3</sub>, 8-OCH<sub>3</sub>)。以上数据与黄华容等 (2005) 的报道基本一致, 故化合物 **5** 鉴定为 1,8-dimethoxynaphthalene。

### 2.6 化合物 6 的结构鉴定

淡绿色油状; HR-ESI-MS  $m/z$  459.2049[M-H]<sup>-</sup>。 $^1\text{H}$ -NMR (400MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 5.28 (5H, m, H-1, H-4, H-5, H-9'', H-10''), 5.21 (1H, s, H-3), 4.25 (2H, dd,  $J=7.6\text{Hz}$ , H-1'''), 1.24-2.24 (34H, m, 17 $\times$ CH<sub>2</sub>), 0.85 (6H, m, 10''-CH<sub>3</sub>, 10'-CH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$ -NMR (100MHz,  $\text{CDCl}_3$ )  $\delta$ : 173.2 (C-1'''), 172.8 (C-1'), 128.1-130.0 (C-1, C-2, C-4, C-5, C-9'', C-10''), 69.0 (C-1'''), 62.2 (C-3), 22.6-34.0 (17C, 17 $\times$ CH<sub>2</sub>), 14.1 (10''-CH<sub>3</sub>, 10'-CH<sub>3</sub>)。结合李千会和徐德平等 (2018) 的描述, 化合物 **6** 鉴定为 methyl 2-undecenoate-3-undecanoate-cyclohexyl-1,4-dienyl ester。

### 2.7 化合物 7 的结构鉴定

白色结晶;  $^1\text{H}$ -NMR (400MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 10.93 (1H, s, H-1), 10.72 (1H, s, H-3), 5.35 (1H, d,  $J=7.6\text{Hz}$ , H-5), 7.38 (1H, d,  $J=7.6\text{Hz}$ , H-6);  $^{13}\text{C}$ -NMR (100MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 164.4 (C-4), 151.6 (C-2), 142.3 (C-6), 100.6 (C-5)。以上数据与 Wei *et al.* (2017) 的报道基本一致, 故化合物 **7** 鉴定为 uracil。

### 2.8 化合物 8 的结构鉴定

白色结晶;  $^1\text{H}$ -NMR (400MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 12.06 (1H, s, -OH), 2.33 (3H, s, -CH<sub>3</sub>);  $^{13}\text{C}$ -NMR (100MHz,  $\text{DMSO}-d_6$ )  $\delta$ : 174.0 (C-1),

29.1 (C-2)。结合以上数据及王素娟和裴月湖 (2000) 的描述, 化合物 **8** 鉴定为 acetic acid。

### 2.9 自由基清除活性实验

通过抗氧化活性实验发现, 化合物 **3**, **4**, **5** 对 DPPH 自由基有一定的清除能力。化合物 **4** 和 Vc 的浓度越高, 对 DPPH 自由基的清除率越大, 即清除能力越强, 且影响显著; 当质量浓度为 3.0mg/mL 时, 化合物 **4** 对 DPPH 自由基的清除率达到最大值, 为 64%, 可能与结构中的酚羟基有关, 化合物 **3** 和化合物 **5** 对 DPPH 自由基的清除率相对较弱 (图 2)。

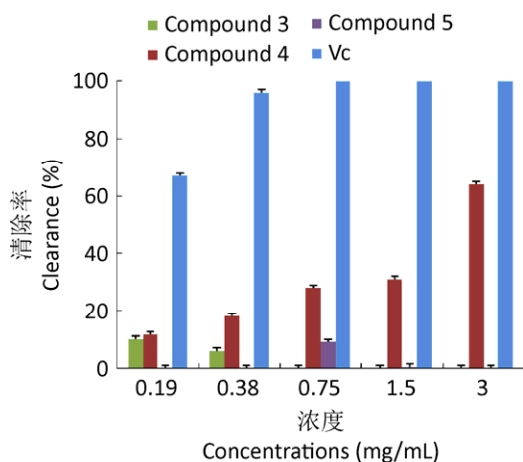


图 2 化合物对 DPPH 自由基的清除率

Fig. 2 The clearance of the compounds on DPPH.

## 3 讨论

微生物是先导化合物的重要来源, 真菌是微生物的重要类群之一, 种类繁多, 形态各异, 生活环境多样, 真菌中分离得到的代谢产物也多种多样 (雷红梅和赵沛基 2019)。但是从常规真菌资源中筛选新化合物面临着巨大的挑战, 而那些生长在自然环境恶劣、营养条件匮乏地区的特殊生境真菌为了生存, 会逐步形成不同于普通土壤真菌的独特生存策略, 进而代谢结构新颖多样的化学成分, 地衣内生真菌就具有这种特殊性

(李晓彬 2015)。地衣内生真菌与地衣的组织器官等具有紧密的关联, 生存方式特别, 生境特殊, 作为潜在的巨大新型物质资源, 对其中的新颖结构代谢产物进行挖掘具有重要的意义 (解斐和姜红祥 2013)。

通过对一株地衣内生真菌蔡氏轮层炭壳菌 *Daldinia childiae* 固体发酵产物的化学成分进行研究, 分离得到 8 个单体化合物, 结构鉴定为 4-hydroxy-benzeethanol (**1**)、4-methoxy-5-car-bomethoxy-6-pentyl-2H-pyran-2-one (**2**)、1-(2,6-dihydroxyphenyl)butan-1-one (**3**)、8-methoxy-1-naphthol (**4**)、1,8-dimethoxynaphthalene (**5**)、methyl 2-undecenoate-3-undecanoate-cyclohexyl-1,4-dienyl ester (**6**)、uracil (**7**) 和 acetic acid (**8**); 其中化合物 **1**, **6** 和 **8** 均首次从轮层炭壳菌属 *Daldinia* 中分离得到; 并研究了化合物 **3**, **4**, **5** 的自由基清除活性, 发现化合物 **4** 在浓度为 3mg/mL 时对 DPPH 自由基的清除率达到 64%, 具有较强的自由基清除活性, 化合物 **3** 和化合物 **5** 对 DPPH 自由基的清除率相对较弱, 具有轻微的自由基清除能力; 研究结果为进一步挖掘轮层炭壳菌属的活性代谢产物奠定基础, 同时丰富了对地衣内生真菌化学成分的认识。

## [REFERENCES]

- Cesati V, De NG, 1863. Schema di classificazione degli sferiacei italici aschigeri piu' o meno appartenenti al genere *Sphaeria* nell' antico significato attribuitogli de Persoon. Commentario Della Societa Crittogamologica Italiana, 1(4): 177-420
- Dai JQ, Krohn K, Flrke U, Draeger S, Schulz B, Szikszai AK, Antus S, Kurtán T, Ree TV, 2006. Metabolites from the endophytic fungus *Nodulisporium* sp. from *Juniperus cedre*. European Journal of

- Organic Chemistry, 15: 3498-3506
- Huang HR, Lin YC, Zhou SN, Vrijmoed LLP, 2005. Metabolites of mangrove endophytic fungus 3920 from the South China Sea. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 6: 137-138 (in Chinese)
- Kamauchi H, Shiraishi Y, Kojima A, Kawazoe N, Kinoshita K, Koyama K, 2018. Isoindolinones, phthalides and a naphthoquinone from the fruiting body of *Daldinia concentrica*. *Journal of Natural Products*, 81(5): 1290-1294
- Lei HM, Zhao PJ, 2019. Advances in research on mining fungal secondary metabolites. *Scientia Sinica (Vitae)*, 49(7): 865-873 (in Chinese)
- Li DL, Wu ZC, Chen YC, Tao MH, Zhang WM, 2011. Chemical constituents of endophytic fungus *Nodulisporium* sp. A4 from *Aquilaria sinensis*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 36(23): 3276-3280 (in Chinese)
- Li QH, Xu DP, 2018. Chemical constituents of pumpkin seeds against benign prostatic hyperplasia. *Natural Product Research and Development*, 30(6): 978-982 (in Chinese)
- Li XB, 2015. Study on chemical components and biological activity of five endophytic fungi. PhD Dissertation, Shandong University, Jinan. 1-167 (in Chinese)
- Li YY, Li LX, Cui Y, Sun BS, 2017. A micro-model of DPPH, ABTS and FRAP for dynamic monitoring of the antioxidant activity of different types of polyphenols isolated from red wine. *Modern Food Science and Technology*, 33(8): 130-140 (in Chinese)
- Liao HX, Zheng CJ, Huang GL, Mei RQ, Nong XH, Shao TM, Chen GY, Wang CY, 2019. Bioactive polyketide derivatives from the mangrove-derived fungus *Daldinia eschscholtzii* HJ004. *Journal of Natural Product*, 82(8): 2211-2219
- Luo Y, Qiu L, Deng Y, Yuan XH, Gao P, 2018. A new chromone and a new aliphatic ester isolated from *Daldinia eschscholtzii*. *Journal of Asian Natural Products Research*, 20(9): 883-888
- Mei RQ, Li C, Wang B, Huang GL, Yi JL, Chen GY, Zheng CJ, 2019. Studies on bioactive secondary metabolites from a mangrove-derived fungus *Daldinia eschscholtzii* HJ00. *Chinese Journal of Marine Drugs*, 38(6): 30-34 (in Chinese)
- Peng XP, Weng SL, 2019. Lichens: the symbiosis of bacteria and algae. *Forest & Humankind*, 6: 96-98+100-109 (in Chinese)
- Quang DN, Hashimoto T, Tanaka M, Baumgartner M, Stadler M, Asakawa Y, 2002. Chemical constituents of the ascomycete *Daldinia concentrica*. *Journal of Natural Product*, 65(12): 1869-1874
- Quang DN, Lam DM, Que DD, 2013. Cytotoxic constituents from the fungus *Daldinia concentrica* (Xylariaceae). *Natural Product Research*, 27(4): 486-490
- Wang SJ, Pei YH, 2000. Studies on the chemical constituents of the leaves of *Betula platyphylla* Suk. *Journal of Shengyang Pharmaceutical University*, 4: 256-257 (in Chinese)
- Wei J, Zhang XY, Deng S, Cao L, Xue QH, Gao JM, 2017.  $\alpha$ -Glucosidase inhibitors and phytotoxins from *Streptomyces xanthophaeus*. *Natural Product Research*, 31(17): 2062-2066
- Xie F, Lou HX, 2013. Research progress on endolichenic fungi and their active secondary metabolites. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 36(4): 682-686 (in Chinese)
- Yang CL, Xiao SJ, Yan S, Zhang MS, Cai Q, Fu SB, Meng QF, 2018. New phomalone derivatives from the endolichenic fungus *Cochliobolus kusanoi* in Ny-Alesund Arcti. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 66: 325-329
- Yang LJ, Liao HX, Bai M, Huang GL, Luo YP, Niu YY, Zheng CJ, Wang CY, 2018. One new cytochalasin metabolite isolated from a mangrove-derived fungus *Daldinia eschscholtzii* HJ001. *Natural Product Research*, 32(2): 208-213
- Yuan C, Guo YH, Zhang YB, Hu X, Wang D, Yu FL, Li G, 2019. Secondary metabolites from *Epicoccum nigrum* 14 one, an endophytic fungus isolated from plant *Leptogium masiaticum*. *China Journal*

- of Chinese Materia Medica, 44(18): 4021-4025 (in Chinese)
- Yuan L, Tang H, Sun P, Zhuang CL, Wang J, Li TJ, Zhang W, 2016. Chemical investigation on the South China Sea sponge *Iotrocota* sp. Chinese Journal of Marine Drugs, 35(4): 11-15 (in Chinese)
- Zhang YH, 2018. Study on active natural products from microorganisms. Progress in Pharmaceutical Sciences, 42(1): 1-3 (in Chinese)
- [附中文参考文献]
- 黄华容, 林永成, 周世宁, Vrijmoed LLP, 2005. 南海红树林内生真菌 3920 代谢产物研究. 中山大学学报 (自然科学版), 6: 137-138
- 雷红梅, 赵沛基, 2019. 真菌次生代谢产物挖掘策略研究进展. 中国科学: 生命科学, 49(7): 865-873
- 李冬利, 吴正超, 陈玉婵, 陶美华, 章卫民, 2011. 白木香内生真菌多节孢 *Nodulisporium* sp. A4 的化学成分研究. 中国中药杂志, 36(23): 3276-3280
- 李千会, 徐德平, 2018. 南瓜籽抗前列腺增生化学成分研究. 天然产物研究与开发, 30(6): 978-982
- 李晓彬, 2015. 五株内生真菌的化学成分及其生物活性研究. 山东大学博士论文, 济南. 1-167
- 李媛媛, 李灵犀, 崔艳, 孙宝山, 2017. 微型 DPPH、ABTS 和 FRAP 法动态监测从红酒中分离得到的不同种类多酚化合物的抗氧化活性. 现代食品科技, 33(8): 130-140
- 梅荣清, 李灿, 王斌, 黄国雷, 易继凌, 陈光英, 郑彩娟, 2019. 一株红树来源真菌 *Daldinia eschscholtzii* HJ001 的活性次级代谢产物研究. 中国海洋药物, 38(6): 30-34
- 彭霄鹏, 温仕良, 2019. 地衣: 菌藻的共生. 森林与人类, 6: 96-98+100-109
- 王素娟, 裴月湖, 2000. 白桦叶化学成分的研究. 沈阳药科大学学报, 4: 256-257
- 解斐, 娄红祥, 2013. 地衣内生真菌及其活性次生代谢产物研究进展. 中药材, 36(4): 682-686
- 元超, 郭玉华, 张影波, 胡璇, 王丹, 于福来, 李刚, 2019. 一株植物内生真菌 *Epicoccum nigrum* 14 one 次生代谢产物研究. 中国中药杂志, 44(18): 4021-4025
- 袁莉, 汤华, 孙鹏, 庄春林, 王静, 李铁军, 张文, 2016. 中国南海海绵 *Iotrocota* sp. 的化学成分研究. 中国海洋药物, 35(4): 11-15
- 张勇慧, 2018. 微生物来源的活性天然产物的研究. 药学进展, 42(1): 1-3

(本文责编: 王敏)