

一株茄病镰刀菌的代谢产物研究

张梅^{1,2}, 徐良雄¹, 薛璟花¹, 魏孝义^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 中国科学院植物资源保护与可持续利用重点实验室, 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 一株茄病镰刀菌(*Fusarium solani*)固体发酵培养物经柱层析分离得到 10 个化合物。通过波谱分析, 分别鉴定为对羟基苯甲酸甲酯 (1)、水杨酸甲酯 (2)、水杨酸戊酯 (3)、香草乙酮 (4)、草夹竹桃苷 (5)、2-甲氧基-4-乙烯苯基-β-D-吡喃葡萄糖苷 (6)、1-O-β-D-glucopyranosyl-(2S,3R,8E)-2-[(2R)-2-hydroxylpalmitoylamino]-8-octadecene-1,3-diol (7)、1-O-β-D-glucopyranosyl-(2S,3R,4E,8E)-2-[(2R)-2-hydroxyhexadecanoylamino]-8-octadecene-1,3-diol (8)、脑苷脂 D (9)和脑苷脂 C (10)。所有化合物均为首次从茄病镰刀菌中分离得到, 其中化合物 6 首次作为天然产物报道。

关键词: 茄病镰刀菌; 镰刀菌属; 酚类化合物; 脑苷脂类

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.06.008

Metabolites of *Fusarium solani*

ZHANG Mei^{1,2}, XU Liang-xiong¹, XUE Jing-hua¹, WEI Xiao-yi^{1*}

(1. Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Sustainable Utilization, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Ten compounds were isolated from the culture of *Fusarium solani*. On the basis of spectral data, they were identified as methylparaben (1), methyl salicylate (2), amyl salicylate (3), acetovanillone (4), androsin (5), 2-methoxy-4-vinylphenyl-β-D-glucopyranoside (6), 1-O-β-D-glucopyranosyl-(2S,3R,8E)-2-[(2R)-2-hydroxylpalmitoylamino]-8-octadecene-1,3-diol (7), 1-O-β-D-glucopyranosyl-(2S,3R,4E,8E)-2-[(2R)-2-hydroxyhexadecanoylamino]-8-octadecene-1,3-diol (8), cerebroside D (9), and cerebroside C (10). Compound 6 was reported as a natural product and all of these compounds were obtained from *Fusarium solani* for the first time.

Key words: *Fusarium solani*; *Fusarium*; Phenolic compounds; Cerebrosides

茄病镰刀菌(*Fusarium solani*)属于丛赤壳科(Nectriaceae)肉座菌目(Hypocreales)镰刀属(*Fusarium*)的 1 种较为常见真菌。茄病镰刀菌可引发多种作物枯萎、根腐等病害, 还可浸染储存谷物、饲草等引起人畜中毒^[1-5]。同时, 茄病镰刀菌可感染人类皮肤及眼部, 引发皮肤病及真菌性角膜炎, 是我国北方真菌性角膜炎的主要致病菌^[6-9]。茄病镰刀菌次生代谢产物有烯醇类、环肽类、萜醌类及倍半萜类环氧化物等类型^[10-12], 并且大多具有生物活性。目前自其代谢物中除报道有新茄病镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、伏马毒素、T2 毒素及 H-T2 毒素等毒性

物质外^[13-15], 还从该菌的培养物分离出多种环孢菌素类环肽化合物, 其中环孢菌素 A (CsA)是目前临床广泛应用的免疫抑制剂^[16-17]。由此可知, 茄病镰刀属真菌的次生代谢物结构多样、生物活性显著, 有明显研究价值。

我们在对鼎湖山自然保护区真菌的抗菌活性筛选中, 发现一株茄病镰刀菌的固体发酵产物对烟曲霉(*Aspergillus fumigatus*)具有较强的抑制作用。为了寻找其抑菌活性成分, 我们对该菌株的次生代谢产物进行了详细研究。

收稿日期: 2012-03-07 接受日期: 2012-04-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(81172942)资助

作者简介: 张梅, 2009 级博士研究生。E-mail: amei1227@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wxy@scbg.ac.cn

1 材料和方法

1.1 菌株

茄病镰刀菌(*Fusarium solani*) SC0005 菌株于2001年10月自广东省肇庆市鼎湖山国家自然保护区树木园棕榈树下的土壤样品(DH0001)中分离得到,由广东微生物研究所李泰辉研究员鉴定。菌种保存于10%甘油水溶液的冷冻管。

1.2 培养基

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA):马铃薯 300 g、葡萄糖 20 g、琼脂 20 g 及蒸馏水 1 L;酵母麦芽汁葡萄糖培养基(YMG):麦芽提取物 10 g、葡萄糖 4 g、酵母提取物 4 g 以及蒸馏水 1 L, pH 5.5±0.2。

1.3 仪器

HPLC 采用日本岛津公司 LC-64D 型液相色谱仪和 RID-10A 示差折光检测器、日本 YMC 公司 YMC-Pack ODS-A 色谱柱(粒径 5 μm, 孔径 12 nm, 250 mm × 20 mm);电喷雾质谱(ESIMS)采用美国应用生物系统公司 MDS SCIEX API 2000 LC/MS/MS 仪,以甲醇为溶剂,直接进样测定;¹H NMR 谱和 ¹³C NMR 谱采用 Bruker DRX-400 核磁共振仪及 Bruker Avance 600 核磁共振仪,以四甲基硅烷为内标测定。

1.4 发酵培养

用接种针挑取一环原保存菌种 SC0005,接种到新配制灭菌过的 PDA 平面培养基上,在 28℃ 下无光照培养 4 d,使菌种活化。

在 2 个容量为 500 mL 的三角瓶中分别加入 YMG 培养基 150 mL,将新活化菌种在无菌条件下接种于三角瓶内,放入旋转式摇床,转速为 105 r min⁻¹, 28℃ 下无光照培养 2 d。然后在无菌条件下将其转入 30 个装有 90 mL YMG 培养基的容量为 300 mL 的三角瓶中,得到种子培养液。并且在 30 个容量为 2 L 的发酵盒内装入小麦粒 550 g,蒸馏水 1 L,灭菌后每个发酵盒转入 100 mL 种子培养液, 28℃ 无光照静止培养 6 d,得到发酵培养物。

1.5 提取分离

将茄病镰刀菌 SC0005 菌株的固体发酵物在室温下用 95% 的乙醇(50 L)浸泡 24 h 后提取,浸提 3 次后合并提取液,经减压浓缩将乙醇抽干后加适量

水使其成为混悬液,依次用乙酸乙酯与正丁醇进行萃取,各萃取 6 次,减压浓缩后得到乙酸乙酯萃取部分(90.0 g)以及正丁醇萃取部分(86.9 g)。

乙酸乙酯萃取部分经硅胶柱层析(100~200 目),以氯仿-甲醇(98:2~70:30)梯度洗脱,每份收集 500 mL,经 TLC 薄层层析检测合并主点相同的流分,得到 E1~E13 共 13 个组分。E3(4.0 g)经正相硅胶柱层析(100~200 目),以石油醚-丙酮(90:10~80:20)梯度洗脱,检测合并主点相同的流分,得到 E3-1~E3-5 共 5 个亚组分。其中 E3-5 (0.34 g)中无色结晶析出,用石油醚冲洗纯化后得化合物 4 (58.0 mg)。E7 (2.1 g)经 ODS 反相硅胶柱层析(75 μ),以甲醇-水(20:80~90:10)梯度洗脱,合并主点相同的流分,得到 E7-1~E7-5 共 5 个亚组分。亚组分 E7-1 (0.51 g)经过 Sephadex LH-20 柱(流动相:甲醇),合并得 E7-1-1 与 E7-1-2。E7-1-1 用 HPLC 制备,以甲醇-水(28%)作为流动相,流速 4 mL min⁻¹,得到化合物 1 (t_R = 31 min, 2.0 mg)与化合物 2 (t_R = 47 min, 22.0 mg);E7-1-2 采用甲醇-水(38%)作为流动相,流速 4 mL min⁻¹,经 HPLC 制备得到化合物 6 (t_R = 46 min, 2.5 mg)。E8 (2.5 g)经 ODS 反相硅胶柱层析(75 μ),以甲醇-水(40:60~100:0)梯度洗脱,其中 100% 甲醇洗脱流分中有白色沉淀析出,经水冲洗后溶解于甲醇中,再经 HPLC 制备纯化(流动相:甲醇),流速 4 mL min⁻¹,得到化合物 7 (t_R = 28 min, 20.0 mg), 化合物 8 (t_R = 25 min, 9.0 mg), 化合物 9 (t_R = 35 min, 28.0 mg)和化合物 10 (t_R = 31 min, 17.0 mg)。

正丁醇萃取部分经硅胶柱层析(100~200 目),以氯仿-甲醇(95:5~70:30)梯度洗脱,检测合并主点相同的流分,得到 B1~B9 共 9 个组分。B1 (0.2 g)经正相硅胶柱层析(100~200 目),石油醚-乙酸乙酯(90:10~80:20)梯度洗脱,每份收集 50 mL,检测合并主点相同流分(7~12),再经 Sephadex LH-20 柱层析分离(流动相:甲醇)得到化合物 3 (3.0 mg)。B5 (1.31 g)经 ODS 反相硅胶柱层析(75 μ),甲醇-水(30:70~70:30)梯度洗脱,检测并合并主点相同流分,得到 B5-1~B5-5 共 5 个亚组分。亚组分 B5-2 (0.16 g)以甲醇-水(18%)作为流动相,流速 4 mL min⁻¹,经 HPLC 制备得到化合物 5 (t_R = 52 min, 2.0 mg)。

1.6 结构鉴定

对羟基苯甲酸甲酯 (1) 无色晶体;分子

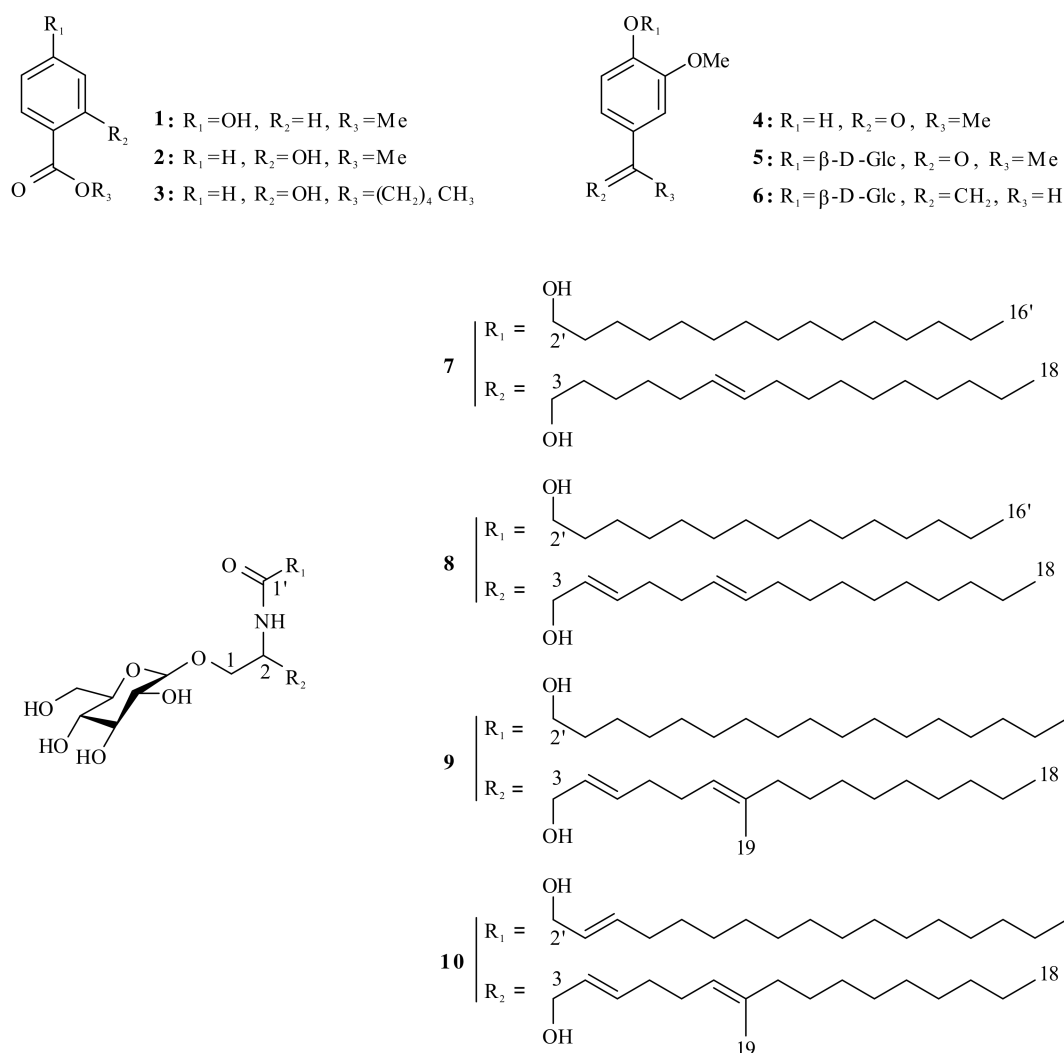


图1 从茄镰孢菌中分离的化合物1~10的结构

Fig. 1 Structures of compounds 1~10 from *Fusarium solani*

式为 $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$; 正离子 ESI-MS m/z : 175 $[\text{M}+\text{Na}]^+$, 191 $[\text{M}+\text{K}]^+$; 负离子 ESI-MS m/z : 151 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 187 $[\text{M}+\text{Cl}]^-$; $^1\text{H NMR}$ (600 MHz, CD_3OD): δ 7.80 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-2, H-6), 6.71 (2H, d, $J = 8.4$ Hz, H-3, H-5), 3.47 (1H, s, OCH_3 -7)。上述数据与文献 [18] 报道一致。

水杨酸甲酯 (2) 无色液体; 分子式为 $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}_3$; 正离子 ESI-MS m/z : 175 $[\text{M}+\text{Na}]^+$, 191 $[\text{M}+\text{K}]^+$; 负离子 ESI-MS m/z : 151 $[\text{M}-\text{H}]^-$, 187 $[\text{M}+\text{Cl}]^-$; $^1\text{H NMR}$ (600 MHz, CD_3OD): δ 7.09 (1H, dd, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-6), 7.06 (1H, td, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-4), 6.77 (1H, dd, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-3), 6.76 (1H, td, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-5), 3.87 (3H, s, OCH_3 -7)。上述数据与文献 [19] 报道一致。

水杨酸戊酯 (3) 无色液体; 分子式为 $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_3$;

正离子 ESI-MS m/z : 231 $[\text{M}+\text{Na}]^+$, 439 $[2\text{M}+\text{Na}]^+$; 负离子 ESI-MS m/z : 207 $[\text{M}-\text{H}]^-$; $^1\text{H NMR}$ (600 MHz, CDCl_3): δ 7.20 (1H, td, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-4), 7.09 (1H, dd, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-6), 6.95 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-3), 6.88 (1H, td, $J = 7.2, 1.2$ Hz, H-5), 4.14 (2H, t, $J = 6.6$ Hz, H_2 -1'), 1.64 (2H, m, H_2 -2'), 1.42 (2H, m, H_2 -3'), 1.37 (2H, q, $J = 7.2$ Hz, H_2 -4'), 0.93 (3H, t, $J = 7.2$ Hz, H_3 -5'); $^{13}\text{C NMR}$ (150 MHz, CDCl_3): δ 174.1 (C-7), 155.3 (C-2), 130.9 (C-4), 129.2 (C-6), 120.8 (C-5), 120.7 (C-1), 117.8 (C-3), 65.8 (C-1'), 38.2 (C-2'), 30.4 (C-3'), 19.0 (C-4'), 13.6 (C-5')。通过上述数据与化合物 2 数据比较, 鉴定此化合物为水杨酸戊酯。

香草乙酮 (4) 白色固体; 分子式为 $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3$; 正离子 ESI-MS m/z : 167 $[\text{M}+\text{H}]^+$, 189 $[\text{M}+\text{Na}]^+$,

205 [M+K]⁺; 负离子 ESI-MS m/z : 165 [M-H]⁻, 201 [M+Cl]⁻; ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD): δ 7.55 (1H, dd, $J = 7.8, 1.8$ Hz, H-6), 7.51 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-2), 6.84 (1H, d, $J = 7.8$ Hz, H-5), 3.89 (3H, s, OCH₃-3), 2.52 (3H, s, H₃-8)。上述数据与文献 [20] 报道一致。

草夹竹桃苷 (5) 白色粉末; 分子式为 C₁₅H₂₀O₈; 正离子 ESI-MS m/z : 351 [M+Na]⁺, 367 [M+K]⁺; 负离子 ESI-MS m/z : 363 [M+Cl]⁻, 655 [2M-H]⁻; ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD): δ 7.64 (1H, dd, $J = 8.4, 2.4$ Hz, H-5), 7.57 (1H, d, $J = 2.4$ Hz, H-3), 7.22 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-6), 5.03 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-1'), 3.90 (3H, s, OCH₃-2), 2.56 (3H, s, H₃-8); ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD): δ 199.4 (C-7), 152.3 (C-1), 150.7 (C-2), 132.9 (C-4), 124.4 (C-5), 116.2 (C-6), 112.4 (C-3), 101.9 (C-1'), 78.4 (C-5'), 77.9 (C-3'), 74.8 (C-2'), 71.3 (C-4'), 62.5 (C-6'), 56.7 (OCH₃), 26.4 (C-8)。上述数据与文献 [21] 报道一致。

2-甲氧基-4-乙烯苯基- β -D-吡喃葡萄糖苷 (6)

浅黄色固体; 分子式为 C₁₅H₂₀O₇; 正离子 ESI-MS m/z : 335 [M+Na]⁺, 647 [2M+Na]⁺; 负离子 ESI-MS m/z : 311 [M-H]⁻, 347 [M+Cl]⁻; ¹H NMR (600 MHz, CD₃OD): δ 7.11 (1H, d, $J = 8.4$ Hz, H-6), 7.08 (1H, d, $J = 1.8$ Hz, H-3), 6.96 (1H, dd, $J = 8.4, 1.8$ Hz, H-5), 6.66 (1H, dd, $J = 18.0, 10.8$ Hz, H-7), 5.67 (1H, d, $J = 18.0$ Hz, H-8b), 5.14 (1H, d, $J = 10.8$ Hz, H-8a), 4.89 (1H, d, $J = 7.2$ Hz, H-1'), 3.87 (3H, s, OCH₃-2), 3.85 (1H, m, H-6'b), 3.69 (1H, dd, $J = 12.0, 6.8$ Hz, H-6'a), 3.46~3.51 (2H, m, H-2', H-3'), 3.39~3.43 (2H, m, H-4', H-5'); ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD): δ 150.9 (C-2), 147.8 (C-1), 137.7 (C-7), 134.3 (C-4), 120.9 (C-6), 120.6 (C-5), 112.7 (C-8), 111.1 (C-3), 102.7 (C-1'), 78.2 (C-3'), 77.8 (C-5'), 74.9 (C-2'), 71.3 (C-4'), 62.5 (C-6'), 56.1 (OCH₃-2)。上述数据与文献 [22] 报道一致。

1-O- β -D-Glucopyranosyl-(2S,3R,8E)-2-[(2R)-2-hydroxylpalmitoylamino]-8-octadecene-1,3-diol (7) 白色粉末; 分子式为 C₄₀H₇₇NO₉; 正离子 ESI-MS m/z : 738 [M+Na]⁺; 负离子 ESI-MS m/z : 714 [M-H]⁻, 750 [M+Cl]⁻; ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD): δ 5.35 (2H, m, H-8, H-9), 4.26 (1H, d, $J = 7.6$ Hz, H-1''), 0.89 (6H, t, $J = 6.8$ Hz, H₃-18, H₃-16'); ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD): δ 177.1 (C-1'), 130.9 (C-8), 130.7 (C-9), 104.6 (C-1''), 78.0 (C-5''), 77.9

(C-3''), 75.0 (C-2''), 72.9 (C-2'), 71.6 (C-3, 4''), 69.9 (C-1), 62.7 (C-6''), 54.7 (C-2), 35.7 (C-3'), 34.9 (C-4), 33.1 (C-7, 10), 31.0 (C-14'), 28.2~30.9 (C-6, 11~16, 5'~13'), 26.4 (C-4'), 25.9 (C-5), 23.7 (C-17, 15'), 14.5 (C-18, 16')。上述数据与文献 [23] 报道一致。

1-O- β -D-Glucopyranosyl-(2S,3R,4E,8E)-2-[(2R)-2-hydroxyhexadecanoylino]-8-octadecene-1,3-diol (8) 白色粉末; 分子式为 C₄₀H₇₅NO₉; 正离子 ESI-MS m/z : 736 [M+Na]⁺; 负离子 ESI-MS m/z : 712 [M-H]⁻, 748 [M+Cl]⁻; ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD): δ 5.73 (1H, dt, $J = 15.6, 5.6$ Hz, H-5), 5.48 (1H, dd, $J = 15.6, 7.2$ Hz, H-4), 5.37 (2H, m, H-8, H-9), 4.26 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-1''), 0.89 (6H, t, $J = 6.8$ Hz, H₃-18, H₃-16'); ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD): δ 177.2 (C-1'), 134.4 (C-5), 132.4 (C-4), 131.3 (C-9), 129.9 (C-8), 104.7 (C-1''), 78.0 (C-5''), 77.9 (C-3''), 75.0 (C-2''), 73.0 (C-2'), 72.8 (C-3), 71.6 (C-4''), 69.7 (C-1), 62.7 (C-6''), 54.6 (C-2), 35.9 (C-3'), 33.7 (C-6), 33.1 (C-7, 16, 14'), 30.4~30.8 (C-11~15, 5'~13'), 27.9 (C-10), 26.2 (C-4'), 23.8 (C-17, 15'), 14.5 (C-18, 16')。上述数据与文献 [24] 报道一致。

脑苷脂 D (9) 白色粉末; 分子式为 C₄₃H₈₁NO₉; 正离子 ESI-MS m/z : 778 [M+Na]⁺; 负离子 ESI-MS m/z : 754 [M-H]⁻, 790 [M+Cl]⁻; ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD): δ 5.73 (1H, dt, $J = 15.6, 5.6$ Hz, H-5), 5.49 (1H, dd, $J = 15.6, 7.2$ Hz, H-4), 5.14 (1H, t, $J = 5.6$ Hz, H-8), 4.26 (1H, d, $J = 8.0$ Hz, H-1''), 1.97 (2H, t, $J = 7.2$ Hz, H₂-10), 1.59 (3H, s, H₃-19), 0.89 (6H, t, $J = 6.4$ Hz, H₃-18, H₃-18'); ¹³C NMR (150 MHz, CD₃OD): δ 177.2 (C-1'), 134.6 (C-5), 136.8 (C-9), 131.1 (C-4), 124.8 (C-8), 104.7 (C-1''), 78.0 (C-3''), 77.9 (C-5''), 75.0 (C-2''), 73.1 (C-3), 72.9 (C-2'), 71.6 (C-4''), 69.7 (C-1), 62.7 (C-6''), 54.6 (C-2), 40.8 (C-10), 35.9 (C-3'), 33.8 (C-6), 33.1 (C-16, 16'), 30.4~30.8 (C-12~15, 5'~15'), 29.1 (C-11), 28.7 (C-4'), 26.1 (C-7), 23.7 (C-17, 17'), 14.4 (C-18, 18')。上述数据与文献 [25] 报道一致。

脑苷脂 C (10) 白色粉末; 分子式为 C₄₃H₇₉NO₉; 正离子 ESI-MS m/z : 776 [M+Na]⁺; 负离子 ESI-MS m/z : 752 [M-H]⁻, 788 [M+Cl]⁻; ¹H NMR (400 MHz, CD₃OD): δ 5.83 (1H, dtd, $J = 15.2, 6.8, 1.2$ Hz, H-4'), 5.71 (1H, dt, $J = 15.2, 6.4$ Hz, H-5), 5.48 (1H, dd, $J = 15.2, 6.0$ Hz, H-3'), 5.46 (1H, dd,

$J = 15.6, 7.2$ Hz, H-4), 5.14 (1H, t, $J = 6.8$ Hz, H-8), 4.26 (1H, d, $J = 7.6$ Hz, H-1''), 1.97 (2H, t, $J = 7.2$ Hz, H2-10), 1.59 (3H, s, H₃-19), 0.89 (6H, t, $J = 6.4$ Hz, H₃-18, H₃-18'); ¹³C NMR (100 MHz, CD₃OD): δ 175.5 (C-1'), 136.7 (C-9), 134.7 (C-4'), 134.5 (C-5), 131.0 (C-4), 129.0 (C-3'), 124.9 (C-8), 104.7 (C-1''), 78.0 (C-3'', 5''), 75.0 (C-2''), 74.1 (C-2'), 72.9 (C-3), 71.6 (C-4''), 69.7 (C-1), 62.7 (C-6''), 54.6 (C-2), 40.8 (C-10), 33.8 (C-6), 33.5 (C-5'), 33.1 (C-16, 14'), 30.2~30.8 (C-12~15, 6'~15'), 29.1(C-11), 28.8 (C-7), 23.8 (C-17, 15'), 14.5 (C-18, 16')。上述数据与文献 [26] 报道一致。

2 结果和讨论

茄病镰刀菌 SC0005 固体发酵物通过乙醇浸泡提取,经乙酸乙酯、正丁醇萃取。通过硅胶,葡聚糖凝胶、HPLC 等色谱分离手段,共分离得到 6 个酚类(1~6)化合物和 4 个脑苷脂类(7~10)化合物。通过波谱数据分析以及与文献报道数据对比, 10 个化合物分别鉴定为对羟基苯甲酸甲酯 (1)、水杨酸甲酯 (2)、水杨酸戊酯 (3)、香草乙酮 (4)、草夹竹桃苷 (5)、2-甲氧基-4-乙烯苯基- β -D-吡喃葡萄糖苷 (6)、1-*O*- β -D-glucopyranosyl-(2*S*,3*R*,8*E*)-2-[(2*R*)-2-hydroxylpalmitoylamino]-8-octadecene-1,3-diol (7)、1-*O*- β -D-glucopyranosyl-(2*S*,3*R*,4*E*,8*E*)-2-[(2*R*)-2-hydroxyhexadecanoylino]-8-octadecene-1,3-diol (8)、脑苷脂 D (9) 和脑苷脂 C (10)。这些化合物均为首次从茄病镰刀菌菌丝体培养物中分离得到,化合物 6 首次以天然产物形式分离获得。据文献报道脑苷脂类化合物具有多方面的生物活性^[27],包括细胞毒活性^[28]、抑菌活性^[28]、抗 HIV-1^[29]、保肝活性^[30]、镇痛作用^[31]、抗溃疡作用^[32]等。本文分离到的脑苷脂类化合物 9 和 10 对作用于细胞壁的抗生素具有增效作用^[33],化合物 10 具有诱导水稻敏感细胞死亡与植物抗毒素积累的作用^[34]。另外,文献报道酚类化合物对羟基苯甲酸甲酯 (1)与水杨酸甲酯 (2)具有抗菌活性^[35-36],2-甲氧基-4-乙烯苯基- β -D-吡喃葡萄糖苷 (6)具有抑制酪氨酸酶活性,阻止黑色素的形成的功效,可用作美白功效的化妆品成分^[22]。

参考文献

[1] Li L L, Han Z M, Lü M L, et al. Biological characteristics of

Fusarium solani causing poplar blight [J]. Chin For Sci Techn, 2009, 23(4): 51-54.

李伶俐, 韩正敏, 吕明亮, 等. 杨树枯萎病菌茄类镰刀菌的生物学特性 [J]. 林业科技开发, 2009, 23(4): 51-54.

[2] Pan H Q, Zhang M, Liu L, et al. Isolation and identification of the *Fusarium solani* of virulence in the *Arctium lappa* L. rhizosphere [J]. Biotechnology, 2009, 19(5): 46-50.

潘华奇, 张森, 刘丽, 等. 牛蒡根际土壤致害菌 *Fusarium solani* 分离鉴定 [J]. 生物技术, 2009, 19(5): 46-50.

[3] Ding W J, Li J H, Chai Z X. Culture-filtrate producing condition and biological activity of *Fusarium solani* [J]. Chin J Chin Mater Med, 2009, 34(20): 2571-2576.

丁文蛟, 李金花, 柴兆祥. 黄芪根腐病菌毒素滤液产生条件和生物活性的测定 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(20): 2571-2576.

[4] Tomioka K, Hirooka Y, Takezaki A, et al. *Fusarium* root rot of prairie gentian caused by a species belonging to the *Fusarium solani* species complex [J]. J Gen Plant Pathol, 2011, 77(2): 132-135.

[5] Koike S T. *Fusarium* crown and root rot of tarragon in California caused by *Fusarium solani* [J]. Plant Dis, 2011, 95(6): 768.

[6] Feng G Z, Li H Y, Sheng Y, et al. Fourteen cases of corneal ulcer induced by *Fusarium solani* [J]. Chin J Mycol, 2009, 4(3): 144-147.

冯广忠, 李鹤玉, 盛宇, 等. 14例茄病镰刀菌所致角膜溃疡临床分析 [J]. 中国真菌学杂志, 2009, 4(3): 144-147.

[7] Cechová M, Halásová S, Jesenská Z. Endophthalmitis caused by the microscopic fungus *Fusarium solani* [J]. Cesk Oftalmol, 1988, 44(5): 362-368.

[8] Güngel H, Eren M H, Pinarci E Y, et al. An outbreak of *Fusarium solani* endophthalmitis after cataract surgery in an eye training and research hospital in Istanbul [J]. Mycoses, 2011, 54(6): e767-e774.

[9] Liao W Q, Li Z G, Xu H, et al. Pyoderma gangrenosum caused by *Fusarium solani* [J]. Chin J Dermatol, 1995, 28(6): 370-371.

廖万清, 李志刚, 徐红, 等. 茄病镰刀菌引起坏疽性脓皮病 [J]. 中华皮肤科杂志, 1995, 28(6): 370-371.

[10] Leslie J F, Summerell B A, Bullock S. The *Fusarium* Laboratory Manual [M]. Iowa: Blackwell, 2006: 250-254.

[11] Tatum J H, Baker R A, Berry R E. Metabolites of *Fusarium solani* [J]. Phytochemistry, 1989, 28(1): 283-284.

[12] He C N, Ma B J, Peng Y. Chemical constituents of *Fusarium solani* from *Panax quinquefolium* L. [OL]. [2011-02-18]. <http://www.paper.edu.cn/index.php/default/release-paper/content/4408253>,

何春年, 麻兵继, 彭勇. 西洋参病原真菌 *Fusarium solani* 的次生代谢产物研究 [OL]. [2011-02-18]. <http://www.paper.edu.cn/index.php/default/releasepaper/content/4408253>.

[13] Ishii K, Sakai K, Ueno Y, et al. Solaniol: A toxic metabolite of *Fusarium solani* [J]. Appl Microbiol, 1971, 22(4): 718-720.

- [14] Song H H, Lee H S, Lee C. A new cytotoxic cyclic pentadepsipeptide, neo-N-methylsalsalvamide produced by *Fusarium solani* KCCM90040, isolated from potato [J]. *Food Chem*, 2011, 126(2): 472–478.
- [15] Peng J, Wu X P, Huang H Q, et al. Research development of *Fusarium* toxins [J]. *Chin Agri Sci Bull*, 2009, 25(2): 25–27.
彭杰, 吴晓鹏, 黄惠琴. 镰刀菌毒素研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2009, 25(2): 25–27.
- [16] Hong L N, Tang X D, Miao C C, et al. Studies on cyclosporin produced by *Fusarium solani* SP. No. 4-11: II. Isolation, separation, purification and identification [J]. *Chin J Antibiot*, 1984, 9(1): 5–15.
洪丽娜, 唐信东, 缪昌城, 等. 镰刀菌4-11产生环孢菌素: II. 提取、分离纯化和鉴别 [J]. *抗生素*, 1984, 9(1): 5–15.
- [17] Chen D J. *Microbial Pharmaceuticals* [M]. Shanghai: East China University of Science and Technology Press, 1999: 1–140.
陈代杰. *微生物药理学* [M]. 上海: 华东科技大学出版社, 1999: 1–140.
- [18] Yang B Y, Tang L, Xiao H B, et al. Chemical constituents of *Datura metel* L. (III) [J]. *Chin J Trad Med Sci Techn*, 2006, 13(4): 253–254.
杨炳友, 唐玲, 肖洪彬, 等. 洋金花化学成分的研究 (III) [J]. *中国中医药科技*, 2006, 13(4): 253–254.
- [19] She G M, Li D C, Zhang Y, et al. Chemical constituents of aerial parts of Dianbaizhu (*Gaultheria leucocarpa* var. *yunanensis* or var. *crenulata*) [J]. *J Beijing Univ Tradit Chin Med*, 2010, 33(1): 62–63.
折改梅, 李东宸, 张宇. 滇白珠地上部分的化学成分研究 [J]. *北京中医药大学学报*, 2010, 33(1): 62–63.
- [20] Junior P. Acetophenonglucoside aus *Penstemon pinifolius* [J]. *Planta Med*, 1986, 52(3): 218–220.
- [21] Huang S X, Liao X, Nie Q J, et al. Phenyl and phenylethyl glycosides from *Picrorhiza scrophulariiflora* [J]. *Helv Chim Acta*, 2004, 87(3): 598–604.
- [22] Fukai S, Tanimoto S, Maeda A, et al. Pharmacological activity of compounds extracted from persimmon peel (*Diospyros kaki* Thunb.) [J]. *J Oleo Sci*, 2009, 58(4): 213–219.
- [23] Ling T J, Xia T, Wan X C, et al. Cerebrosides from the roots of *Serratula chinensis* [J]. *Molecules*, 2006, 11(9): 677–683.
- [24] Inagaki M, Harada Y, Yamada K, et al. Isolation and structure determination of cerebrosides from garlic, the bulbs of *Allium sativum* L. [J]. *Chem Pharm Bull*, 1998, 46(7): 1153–1156.
- [25] Zhan Z J, Sun H D, Wu H M, et al. Chemical components from the fungus *Engleromyces goetze* [J]. *Acta Bot Sin*, 2003, 45(2): 248–252.
- [26] Keusgen M, Yu C M, Curtis J M, et al. A cerebroside from the marine fungus *Microsphaeropsis olivacea* (Bonord.) Höhn [J]. *Biochem Syst Ecol*, 1996, 24(5): 465–468.
- [27] Tan R X, Chen J H. The cerebrosides [J]. *Nat Prod Rep*, 2003, 20(5): 509–534.
- [28] Li H Y, Matsunaga S, Fusetani N. Halicyclindrosides, antifungal and cytotoxic cerebrosides from the marine sponge *Halichondria cylindrata* [J]. *Tetrahedron*, 1995, 51(8): 2273–2280.
- [29] Weber K T, Hammache D, Fantini J, et al. Synthesis of glycolipid analogues that disrupt binding of HIV-1 gp120 to galactosylceramide [J]. *Bioorg Med Chem Let*, 2000, 10(10): 1011–1014.
- [30] Jung J H, Lee C O, Kim Y C, et al. New bioactive cerebrosides from *Arisaema amurense* [J]. *J Nat Prod*, 1996, 59(3): 319–322.
- [31] Koyama K, Akiba M, Imaizumi T, et al. Antinociceptive constituents of *Auricularia polytricha* [J]. *Planta Med*, 2002, 68(3): 284–285.
- [32] Kong L D, Abliz Z, Zhou C X, et al. Glycosides and xanthine oxidase inhibitors from *Conyza bonariensis* [J]. 2001, 58(4): 645–651.
- [33] Wicklow D T, Joshi B K, Gamble W R, et al. Antifungal metabolites (monorden, monocillin IV, and cerebrosides) from *Humicola fuscoatra* Traaen NRRL 22980: A mycoparasite of *Aspergillus flavus* Sclerotia [J]. *Appl Environ Microb*, 1998, 64(11): 4482–4484.
- [34] Koga J, Yamauchi T, Shimura M, et al. Cerebrosides A and C, sphingolipid elicitors of hypersensitive cell death and phytoalexin accumulation in rice plants [J]. *J Biol Chem*, 1998, 273(48): 31985–31991.
- [35] Liu S Q, Luo T, Luo Y H, et al. The analysis of antifungal activities of methyl salicylate and aspirin [J]. *Guizhou Med J*, 1995, 20(2): 97–98.
刘素琴, 罗挺, 罗玉华, 等. 水杨酸甲酯、阿司匹林对致病性真菌的抑菌试验观察 [J]. *贵州医药*, 1995, 20(2): 97–98.
- [36] Yang S Q. Antimicrobial activity and development trend of parahydroxybenzoic acid esters derivatives [J]. *Bev Fast Frozen Food Ind*, 2004, 10(4): 25–29.
杨寿清. 对羟基苯甲酸酯衍生物的抗菌活性及其发展趋势 [J]. *冷饮与速冻食品工业*, 2004, 10(4): 25–29.