

黄花蒿叶水提物对三七根际尖孢镰刀菌生长的抑制作用

赵雅萌¹, 马玉楠¹, 陈传娇¹, 程永现², 董 鲜^{1*}, 徐福荣^{1*}

¹云南中医学院, 昆明 650500; ²深圳大学医学部药学院, 深圳 518060

摘要:田间试验结果表明,在三七土壤表面覆盖黄花蒿可促进三七植株的生长,并且对三七“黄腐型”根腐病有一定的抑制作用,防控效果高达 76.6%。通过以水为溶媒提取黄花蒿叶片,研究了其水提物对三七根腐病主要病原菌之一尖孢镰刀菌菌丝生长、孢子产量、菌丝干重、镰刀菌酸产生的作用。结果表明,随着水提物浓度的增大,黄花蒿水提物对尖孢镰刀菌菌丝的生长、孢子产量和镰刀菌酸产生的抑制作用逐渐增强;并且病原菌培养基的粗提物对植株体的致病作用与其镰刀菌酸含量成正相关关系。该研究将为三七根腐病的生态防控以及新农药的开发利用提供重要科学依据。

关键词:黄花蒿;三七;尖孢镰刀菌;水提物;根腐病

中图分类号:R282.2

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.3.005

Inhibitory Effects of Water Soluble Extract from *Artemisia annua* Leaves on The Growth of Rhizosphere *Fusarium oxysporum* Associated with *Panax notoginseng*

ZHAO Ya-meng¹, MA Yu-nan¹, CHEN Chuan-jiao¹, CHENG Yong-xian², DONG Xian^{1*}, XU Fu-rong^{1*}

¹Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650500, China; ²School of Pharmaceutical Sciences, Health Science Center, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

Abstract: The field tests showed that covering *Artemisia annua* L. on the *Panax notoginseng*'s soil surface can promote plant growth and meanwhile inhibit the occurrence of root-rot disease of *P. notoginseng* with preventive effect even up to 76.6%. To unveil the effect of water soluble extract of *A. annua* leaves on the growth of *Fusarium oxysporum*, a well-known pathogenic fungus of *P. notoginseng*, the colony diameter, spore yields, hypha dry weight and fusaric acid content were measured. It was found that the mycelium growth, spore yields, hypha dry weight and fusaric acid content significantly decreased in a dose dependent manner. In addition, the content of fusaric acid in medium was found to be positively correlated with the injury level of plant. The present study would lend supports for both ecological control and development of new pesticides of *P. notoginseng*.

Key words: *Artemisia annua*; *Panax notoginseng*; *Fusarium oxysporum*; water soluble extract; root-rot disease

中药三七系五加科人参属三七 (*Panax notoginseng*) 的干燥根,为多年生草本植物,具有活血化瘀,消肿定痛等功效,主产于我国西南地区,尤其在我国云南省的文山州距今已有 400 多年的栽培历史^[1]。三七根、茎、叶、花均可药用,但尤以根用于治疗心脑血管疾病最为悠久和广泛。鉴于三七显著的疗效,其有“参中之王”、“金不换”之美誉^[2]。

黄花蒿 (*Artemisia annua*) 为菊科蒿属一年生草

本植物,俗称青蒿、臭蒿、草蒿,具有抗疟、抑菌、消炎、清热凉血、解暑的作用,主要用于治疗疟疾、结核潮热、低热、无汗、伤暑及多种瘟疫。黄花蒿的化学成分主要有挥发油、倍半萜、黄酮、香豆素四大类成分^[3],著名抗疟疾的青蒿素即出于该植物。

三七卓越的活血化瘀疗效加上现代社会心脑血管高发,致使其供需矛盾日益突出,种植是满足社会需求的主要方法,但三七集约化种植过程中病害问题日益严重。三七地上部分的病害可以通过叶片的变化来进行防治,而地下部分的病害既不能为人们预先所发现,也难以进行控制,因此一定程度上而言,三七根腐病成了当前危害三七最为严重的病害,也是制约三七产业发展的重要因素^[4]。导致三七

收稿日期:2017-08-17 接受日期:2017-09-13

基金项目:国家自然科学基金(81660626);云南应用基础研究计划-青年项目(2015FD034);云南省应用基础研究-中医联合专项(2017FF116-014);国家自然科学基金(81460581);国家重点研发计划(2017YFD0201402)

*通信作者 Tel:86-871-65918204; E-mail:xfrong99@163.com

根腐病的病原菌具有多样性,虽然细菌和线虫亦可侵染致病,但以真菌为主。曹福祥等^[5]认为三七根腐病是由腐皮镰刀菌根生专化型 *Fusarium solani* f. sp. *radicicola* (Wollenw.) W. C. Snyder & H. N. Hansen 所致。王拱辰等^[6]则认为三七根腐病除腐皮镰刀菌外,还有尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* E. F. Sm. & Swingle 和串珠镰孢中间变种 *Fusarium monilliforme* var. *intermedium* Neish & M. Legg。镰刀菌属类病原菌能引发多数作物根腐病的发生,给作物生产带来严重损失。该类病原菌能从根系感染植株,继而定殖于根系和下部茎,导致地上部发病^[7]。病原真菌在入侵过程中产生的毒素能够干扰寄主植物的代谢,其中研究较多的是由致病性尖孢镰刀菌产生的镰刀菌酸,其是一种非专化型毒素^[8,9],在生理浓度范围内便可干扰植物的代谢功能。

近年来如何防治三七根腐病引起了众多科学家的关注,我们在走访调查过程中发现,在三七土壤表面覆盖黄花蒿,能够促进三七植株的生长,大大抑制了三七“黄腐型”根腐病的发生,提示三七根腐病防治过程中黄花蒿存在的重要价值。我们首先从黄花蒿叶水提物对三七根际尖孢镰刀菌生长的抑制作用方面,采用离体试验进行观察,揭示黄花蒿抑制三七根腐病发生的机制,以期为三七根腐病的生态防控提供一定参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试植株

供试黄花蒿:黄花蒿种子由云南省农业科学院提供,在云南省道地濒危中药材繁育与栽培工程技术研究中心内温室种植。

供试三七植株:三七种子购买于云南文山景源农业发展有限公司,在云南省道地濒危中药材繁育与栽培工程技术研究中心内人工气候室种植。

1.1.2 供试菌株

供试用菌株分离自发病三七植株根系,经鉴定具有致病性,为尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)。在 PDA 培养基上活化 3~4 次后,取生长较旺盛的菌株备用。

1.1.3 供试培养基

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA):马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 20 g,蒸馏水 1000 mL。马铃薯去皮,去芽眼,切块放入锅中,加入蒸馏水,煮沸 20

~30 min,纱布过滤残渣,滤汁补水至 1000 mL,加入琼脂、葡萄糖融化,搅拌均匀,趁热分装。121 °C 灭菌 20 min。

尖孢镰刀菌产孢子培养基(Bilay's 培养基):
KH₂PO₄ 1 g, KNO₃ 1 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g, KCl 0.5 g, 淀粉 0.2 g, 蔗糖 0.2 g, 葡萄糖 0.2 g, 蒸馏水 1000 mL, 溶解后,分装于 100 mL 锥形瓶中,每瓶 50 mL 培养基。121 °C 灭菌 20 min。

察氏培养基:NaNO₃ 3 g, K₂HPO₄ 1 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g, KCl 0.5 g, FeSO₄ 0.01 g, 蔗糖 30 g, 蒸馏水 1000 mL, 加热溶解,分装于 100 mL 锥形瓶中,每瓶 50 mL 培养基。121 °C 灭菌 20 min。

1.2 仪器及试剂

1.2.1 仪器

电热压力蒸汽灭菌锅(型号:GR60DA,致微(厦门)仪器有限公司),超净工作台(型号:SW-CJ-1FD,苏州安泰空气技术有限公司),微生物培养箱(型号:DHP-9051,上海一恒科学仪器有限公司),恒温振荡器(型号:THZ-98C,上海一恒科学仪器有限公司),体式显微镜(型号:XS-212-202,南京市科之杰仪器有限公司),电子天平(型号:YT124,日本岛津有限公司),旋转蒸发仪(型号:N-1100,日本东京理化器械株式会社),高效液相色谱仪(型号:Agilent 1260II,USA)。

1.2.2 试剂

镰刀菌酸标准品(HPLC级,纯度>99%,批号:198962500, Thermo, USA), 甲醇(色谱纯, SIGMA, USA), 二氯甲烷(AR), 试验用水为蒸馏水。

1.3 实验方法

1.3.1 黄花蒿叶水提物的制备

阴干黄花蒿叶片,粉碎,过 40 目筛,称取 30 g 用蒸馏水超声提取(100 mL × 2 h × 2 次),过滤,冷冻干燥得浸膏 1.3446 g,制备成浓度为 2.24、4.48、8.96、13.45 mg/mL 的水溶液,分别相当于生药材浓度为 50、100、200、300 mg/mL,置于 4 °C 冰箱,备用,空白对照为蒸馏水。

1.3.2 尖孢镰刀菌的生长曲线测定

参照牛津杯法^[10],测定水提物对尖孢镰刀菌菌丝生长的影响。在无菌操作条件下,每个培养皿中倒入 15 mL PDA 培养基,待凝固后,取在 PDA 培养基上培养 7 d 的尖孢镰刀菌,用直径 5 mm 的打孔器沿菌落边缘打取菌块,接种于培养基中央,然后将 4 个无菌牛津杯距离培养皿中央等距离放置,每个牛津杯加入 200 μL 上述不同浓度的水提物(水提物在

加入到牛津杯之前需用 0.22 μm 水系滤头过滤除菌), 放置于微生物培养箱中 28 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养。每个处理设 5 个重复。用“十字交叉法”每 24 h 测量一次菌落直径, 直至第 7 d^[11]。将所得数值以折线图表示, 即为尖孢镰刀菌的生长曲线。

1.3.3 尖孢镰刀菌孢子产量测定

取培养 7 d 的尖孢镰刀菌, 加入 20 mL 无菌水到培养皿中, 无菌载玻片将菌丝轻轻刮下, 用 8 层无菌纱布过滤除去菌丝, 得到的滤液即为孢子悬浮液, 每瓶 Bilay's 培养基中加入 200 μL 孢子悬浮液与 1 mL 过滤除菌的黄花蒿叶的水提物。于恒温振荡器 180 rpm, 28 $^{\circ}\text{C}$ 培养 7 d。培养结束后, 孢子产量用血球计数板进行测定。每个处理设 5 个重复。

1.3.4 尖孢镰刀菌菌丝干重与毒素测定

用 1.3.3 方法制备孢子悬浮液, 每瓶察氏培养基中加入 200 μL 孢子悬浮液与 2 mL 不同浓度过滤除菌的黄花蒿叶的水提物。于恒温振荡器 180 rpm, 28 $^{\circ}\text{C}$ 培养 10 d。培养结束后, 将培养基减压抽滤, 滤纸上得到的残渣即为菌丝。每个处理设 5 个重复。所得滤液用 2M HCl 酸化到 pH 为 2.5, 滤液用二氯甲烷反复萃取 3 次, 下层有机相合并, 并减压浓缩至干, 残留物用 3 mL 甲醇溶解, 储存于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱, 待测。病原菌毒素的测定条件如下: 色谱柱为 Agilent 反相 C_{18} 柱 (250 mm \times 4.6 mm, i. d., 5 μm , ZORBAX 959990-902); 柱温为 35 $^{\circ}\text{C}$; 进样量 2 μL ; 流动相为甲醇-0.43% 磷酸 (68:32)。检测波长为 280 nm, 流速为 1 mL/min, 运行时间为 15 min^[12]。

1.3.5 尖孢镰刀菌产生的毒素对三七植株生长的影响

试验 1.3.4 得到的滤液即为尖孢镰刀菌产生的毒素粗提物。每瓶滤液中放入 3 株长势一致的三七健康植株, 每个处理设 5 个重复, 浸泡 24 h, 观察三七植株的萎蔫倒伏率。

1.3.6 数据统计分析

利用 Microsoft Excel 和 SPSS 软件对试验数据进行处理和分析, 以“平均数 \pm 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 田间试验数据测定

经过长时间的田间试验, 发现在三七土壤表面覆盖黄花蒿能促进三七植株的生长, 较无黄花蒿覆盖的三七, 叶绿素含量 (SPAD) 升高, 株高和根系干重也有所增加, 发病率显著降低, 远远低于无黄花蒿覆盖的三七 (36.7%) (表 1), 黄花蒿的防控效果高达 76.6% (表 1), 大大抑制了该块地“黄腐型”根腐病的发生。

2.2 尖孢镰刀菌的生长曲线

由图 2 可以看出, 从第 3 d 开始, 各组之间开始呈现出显著差异。随着培养时间的延长, 黄花蒿叶水提物浓度增大, 其对尖孢镰刀菌的生长抑制作用逐渐增强。图 3 为培养 7 d 时尖孢镰刀菌的生长状况, 对照组的菌落直径为 71.1 mm, 而浓度为 13.45 mg/mL 的样品抑制效果最强, 菌落直径为 39.5 mm。



图 1 黄花蒿覆盖 (C) 和无黄花蒿覆盖 (NC) 对三七生长及根腐病发生的影响

Fig. 1 Effects of *A. annua* covering (C) and without covering (NC) on the growth and root-rot of *P. notoginseng*

注: (a) 田间黄花蒿覆盖在三七土壤表面; (b) 黄花蒿覆盖对三七生物量和根腐病发生的影响

Note: (a) *A. annua* covering on *P. notoginseng* soil surface in the field; (b) Effect of *A. annua* covering on the biomass and root-rot disease of *P. notoginseng*

表1 覆盖黄花蒿对三七叶绿素含量 (SPAD)、株高、干重、发病率、病情指数的影响和防控效果

Table 1 Effects of *A. annua* covering on the chlorophyll content (SPAD), stem length, root dry weight, disease incidence, disease index and the prevention effect of *P. notoginseng*

组别 Group	SPAD	株高 Stem length (cm)	根系干重 Root dry weight (g)	发病率 Disease incidence (%)	病情指数 Disease index	防控效果 Prevention effect (%)
C	49.16 ± 2.33	19.48 ± 1.92	5.94 ± 0.79	10	7.3	76.6
NC	43.84 ± 2.57	15.82 ± 2.14	4.60 ± 0.33	36.7	31.33	

2.3 尖孢镰刀菌孢子产量

表2 结果表明,黄花蒿叶的水提取物抑制尖孢镰刀菌的孢子产生,各组与对照相比,均呈现显著性差异 ($P < 0.05$)。对照组的孢子产量为 4.5833×10^6 个/mL,而浓度为 13.45 mg/mL 的样品其孢子产量最小,为 1.1000×10^6 个/mL,较对照组低 4.17 倍。

2.4 尖孢镰刀菌菌丝干重

试验结果表明(表2),黄花蒿叶的水提取物对尖

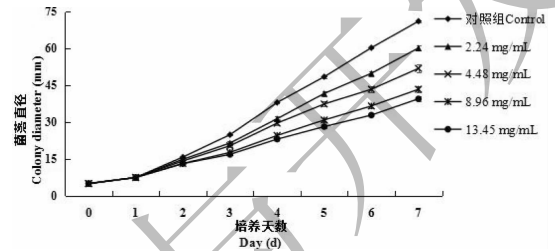


图2 尖孢镰刀菌的生长曲线

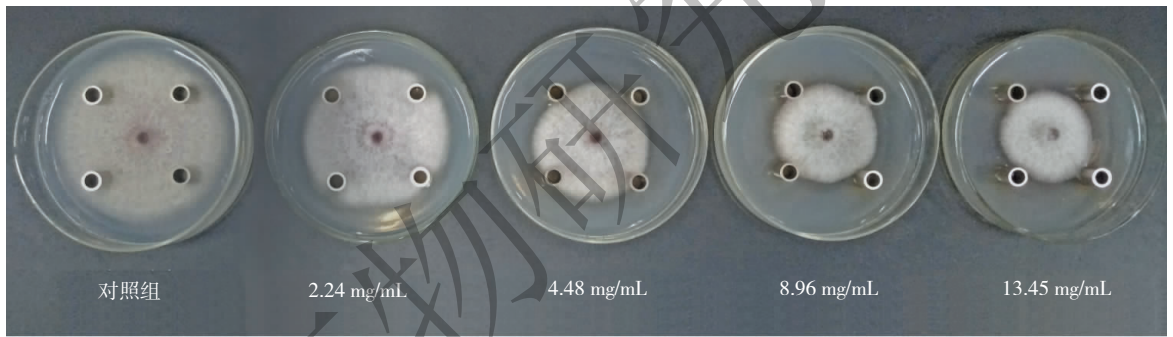
Fig. 2 The growth curve of *F. oxysporum*

图3 不同质量浓度黄花蒿叶的水提取物对尖孢镰刀菌生长的抑制作用

Fig. 3 Inhibitory effect of water soluble extracts from *A. annua* leaves on the growth of *F. oxysporum*

表2 黄花蒿叶水提取物对尖孢镰刀菌的孢子产量、菌丝干重及镰刀菌酸含量的影响

Table 2 Effects of *A. annua* leave water soluble extracts on spore yields, hypha dry weight and fusaric acid (FA) content

浓度 Concentration (mg/mL)	孢子产量 Spore yields (10^6 /mL)	菌丝干重 Hypha dry weight (g)	镰刀菌酸含量 FA content (mg/mL)
0	4.5833 ± 0.3678 ^a	0.2685 ± 0.0078 ^a	1.4498 ± 0.2192 ^a
2.24	1.1667 ± 0.1167 ^b	0.1960 ± 0.0663 ^{ab}	1.4252 ± 0.7428 ^a
4.48	1.1833 ± 0.1014 ^b	0.1938 ± 0.0347 ^{ab}	1.2517 ± 0.3854 ^a
8.96	1.2333 ± 0.0764 ^b	0.1453 ± 0.0374 ^{bc}	1.0602 ± 0.4731 ^{ab}
13.45	1.1000 ± 0.0764 ^b	0.0461 ± 0.0073 ^c	0.0491 ± 0.0135 ^b

注:同列数据上标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$);上标相同的字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Note: In the same column, values with different superscripts indicated significant difference ($P < 0.05$), while with the same superscripts indicated no significant difference ($P > 0.05$).

孢镰刀菌的菌丝干重有一定的抑制作用。菌丝干重随着黄花蒿叶的水提取物浓度的增大而减小。对照组的菌丝干重为 0.2685 g,而处理组水提取物浓度为

13.45 mg/mL 时,菌丝干重最小,为 0.0461 g,较对照组低 5.8 倍。另外,除浓度为 8.96 mg/mL 的样品外,与其它样品组相比均呈现显著性差异 ($P <$

0.05)。

2.5 尖孢镰刀菌镰刀菌酸产量

表2结果表明,镰刀菌酸的含量随着水提物浓度的增大而减小,表明黄花蒿叶的水提物能抑制尖孢镰刀菌毒素的产生,对照组FA含量为1.4498 mg/mL,而水提物浓度为13.45 mg/mL时,FA含量最低(0.0491 mg/mL)。除浓度为8.96 mg/mL样品组外,与其它组均呈现显著性差异($P < 0.05$)。

2.6 尖孢镰刀菌产生的毒素粗提物对三七植株生长的影响

尖孢镰刀菌产生的毒素能使三七植株出现萎蔫倒伏病症(图4)。试验结果表明(表3),毒素粗提物处理三七植株24 h后,水提物浓度为13.45 mg/mL的萎蔫率与其它组相比最低,仅为20.0%,而倒

伏率最高的为对照组,即60.0%。并且,在处理过程中三七植株会先出现萎蔫,随后有些植株会恢复正常生长。



图4 粗毒素对三七植株生长的影响

Fig. 4 Effect of crude toxins on the growth of *P. notoginseng*

表3 尖孢镰刀菌的粗毒素对三七植株萎蔫率的影响

Table 3 Influence of crude toxins on wilting of *P. notoginseng*

浓度 Concentration (mg/mL)	15 h		20 h		24 h	
	萎蔫数 The number of wilting	萎蔫率 The percentage of wilting (%)	萎蔫数 The number of wilting	萎蔫率 The percentage of wilting (%)	萎蔫数 The number of wilting	萎蔫率 The percentage of wilting (%)
0	6	40.0	10	66.7	9	60.0
2.24	9	60.0	12	80.0	8	53.3
4.48	7	46.7	9	60.0	8	53.3
8.96	9	60.0	10	66.7	6	40.0
13.45	9	60.0	12	80.0	3	20.0

3 结论与讨论

三七是功效显著的具有活血化瘀功效的中药,自古医家善用之。现代社会心脑血管疾病高发,三七的价值更是凸显,比如以三七为主的复方丹参滴丸、血塞通等产品其市场相当可观,但如何在目前克服三七连做障碍还面临诸多难题情况下保证高品质三七的足量供应成为业界的高度关注。在田间种植过程中,我们发现将黄花蒿覆盖在三七的土壤表面,能抑制根腐病的发生并促进三七的生长(图1,表1),因此推测在田间通过淋溶和雨水冲刷等方式将黄花蒿中的有效成分溶解、释放到土壤中,可能是影响三七植株生长和在一定程度上抑制三七根腐病发生的主要原因。在黄花蒿所含的几大类成分中,萜类和黄酮类物质最为丰富,叶片含量最高,有研究表明其是黄花蒿最主要的化感成分^[13-16]。另外,也有研究表明黄花蒿水提物能完全抑制蘑菇湿泡病菌、

辣椒疫霉病菌的菌丝生长,对甜菜褐斑病菌、花生褐斑病菌和洋葱紫斑病菌等的菌丝生长抑制作用也较强(>60%)。慕小倩等^[17]还发现黄花蒿水提物能明显抑制小麦幼苗的生长,且浓度升高抑制作用加强。同时黄花蒿水提物能显著影响萝卜、黄瓜、小麦、玉米的苗高和鲜重^[18]。为揭示黄花蒿覆盖抑制三七根腐病发生的机制,本研究通过配置不同浓度的黄花蒿叶片水提物,测定其对菌丝生长的作用(图2和3)。结果表明,随着水提物浓度的增加,其对菌丝生长的抑制作用越显著。进一步测定其对尖孢镰刀菌孢子产生的影响,发现黄花蒿水提物能显著降低孢子的产生、病原菌的生物量和毒素的产生(表2)。已有研究表明,尖孢镰刀菌能以厚垣孢子的形式在土壤中存活多年,当受到植株根系分泌物刺激之后,孢子开始萌发,并向植株根表附近移动^[19]。当病原菌成功侵入植株之后,通过孢子萌发形成菌丝在植物根系和维管束蔓延。由菌丝产生的

小型分生孢子,在植株蒸腾作用过程中向地上部运输。在病原菌往上移动过程中,菌丝会产生次生代谢产物毒素。其中镰刀菌酸是镰刀菌属类真菌产生的一种非特异性次生代谢产物,是病原菌的重要致病因子^[20]。毒素学说认为病原菌的次生代谢产物会对植株产生破坏植株细胞膜、干扰植株组织发挥功能等一系列毒害作用^[12]。本研究表明,镰刀菌酸能够使得三七植株出现萎蔫倒伏等伤害症状(图4)。同时,当黄花蒿水提物浓度增加时,能够大大降低镰刀菌酸的产生(表2)。在毒素处理三七植株试验中,有些植株会出现先萎蔫,后恢复正常生长的现象,尤其是当用低浓度毒素处理植株时,此种现象更为明显,提示低浓度毒素可能作为一种信号物质能够提高三七的抗逆性(表3)。

植物化感作用的概念最早是 H. Molisch 提出的,后来 Rice 根据多年的研究成果,将植物化感作用重新定义为:植物(含微生物)通过释放化学物质到环境中而产生对其它植物直接或间接的有害作用。化感物质主要是通过挥发、淋溶、根系分泌、残体分解等方式,从一种植物(供体)释放到环境中去,从而影响周围其它植物(受体)的生长。本研究的结果表明,黄花蒿覆盖能促进三七的生长,并可抑制三七根腐病的发生,提示若通过合理方式将三七与黄花蒿间作,形成友好生态种植模式,将可能对三七生长和病害防治发挥积极作用。同时,本研究也提示进一步开展黄花蒿提取物中成分的分离和鉴定,并研究它们对尖孢镰刀菌的调控作用和机制也是十分必要的。

参考文献

- 1 Guo HB, Cui XM, An N, *et al.* Sanchi ginseng (*Panax notoginseng* (Burkill) F. H. Chen) in China: distribution, cultivation and variations [J]. *Gen Reso Crop Evol*, 2010, 57: 453-460.
- 2 Yao J (姚建), Yang KH (杨克洪), Peng ER (彭尔瑞). The analysis and control of influencing factors on *Panax notoginseng* [J]. *Guangdong Agric Sci* (广东农业科学), 2011, 38: 22-24.
- 3 Wang HB (王鸿博), Xiao W (肖皖), Hua HM (华会明), *et al.* Research progress on chemical constituents of *Artemisia annua* [J]. *Drugs Clin* (现代药物与临床), 2011, 26: 430-433.
- 4 Mao ZS (毛忠顺), Long YJ (龙月娟), Zhu SS (朱书生), *et al.* Progress in research on *Panax notoginseng* root rot dis-

- ease [J]. *J Chin Med Mater* (中药材), 2013, 36: 2051-2054.
- 5 Cao FX (曹福祥), Qi PK (戚佩坤). Identification for pathogen causing *Panax notoginseng* root rot [J]. *Acta Phyt Sin* (植物病理学报), 1991, 21: 89-93.
- 6 Wang HC (王拱辰), Chen HK (陈鸿逵), Luo PX (骆平西). Isolation, inoculation and fungicidal tests on the pathogens causing root rot of *Panax pseudo-ginseng* Wall. Var. *notoginseng* (Burkill) Hoo & Tseng [J]. *Acta Phyt Sin* (植物病理学报), 1991, 21: 144.
- 7 Paulitz TC. Low input no-till cereal production in the Pacific Northwest of the U. S. : The challenges of root diseases [J]. *Euro J Plant Path*, 2006, 115: 271-281.
- 8 Gapillout I, Milat ML, Blein JP. Effects of fusaric acid on cells from tomato cultivars resistant or susceptible to *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* [J]. *Eu J Plant Path*, 1996, 102: 127-132.
- 9 Toyoda H, Hashimoto H, Utsumi R, *et al.* Detoxification of fusaric acid by a fusaric acid-resistant mutant of *Pseudomonas solanacearum* and its application to biological control of *Fusarium* wilt of tomato [J]. *Phytopathology*, 1988, 78: 1307-1311.
- 10 Zhang JH (张建华), Li M (李敏), Zhang B (张波), *et al.* Comparison of antimicrobial activity of eight monomer polyphenols to wine microorganisms [J]. *Food Ferment Ind* (食品与发酵工业), 2016, 42: 101-106.
- 11 Wu HS, Raza W, Fan JQ, *et al.* Cinnamic acid inhibits growth but stimulates production of pathogenesis factors by *in vitro* cultures of *Fusarium oxysporum* f. sp. *niveum*. *J Agric Food Chem*, 2008, 56: 1316-1321.
- 12 Dong X, Ling N, Wang M, *et al.* Fusaric acid is a crucial factor in the disturbance of leaf water imbalance in *Fusarium*-infected banana plants [J]. *Plant Physiol Biol*, 2012, 60: 171-179.
- 13 Pandey N, Pandey-Rai S. Modulations of physiological responses and possible involvement of defense-related secondary metabolites in acclimation of *Artemisia annua* L. against short-term UV-B radiation [J]. *Planta*, 2014, 240: 611-627.
- 14 Wang HH, Ma CF, Li ZQ, *et al.* Effects of exogenous methyl jasmonate on artemisinin biosynthesis and secondary metabolites in *Artemisia annua* L. [J]. *Ind Crops Progr*, 2010, 31: 214-218.
- 15 Zhang XR (张晓蓉), Peng GH (彭光花), Chen GX (陈功锡), *et al.* Chemical constituents of volatile oil from *Artemisia annua* residue and their antibacterial activity [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2011, 42: 2418-2421.