

刘贵友,邹 瑶,顾杨霞,等. 内生真菌对连作花生土壤尖孢镰刀菌的拮抗作用[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):171-174.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.050

内生真菌对连作花生土壤尖孢镰刀菌的拮抗作用

刘贵友^{1,2}, 邹 瑶¹, 顾杨霞¹, 戴传超²

(1. 江苏第二师范学院生命科学与化学化工学院, 江苏南京 210013;

2. 南京师范大学生命科学学院/江苏省微生物资源产业化工程技术研究中心/江苏省微生物与功能基因组学重点实验室, 江苏南京 210023)

摘要:在实验室条件下研究 3 种内生真菌对连作花生土壤尖孢镰刀菌的拮抗作用。结果表明:拟茎点霉 NJ4.1 菌株、拟茎点霉 B3 菌株和角担子菌 B6 菌株对花生根腐病原菌尖孢镰刀菌均有拮抗作用,其中拟茎点霉 NJ4.1 菌株对尖孢镰刀菌抑制作用明显,抑菌率为 38.93%,与尖孢镰刀菌生态位重叠指数为 1/3;拟茎点霉 NJ4.1 菌株生长过程中产生的挥发物对尖孢镰刀菌抑菌率为 18.15%,拟茎点霉 NJ4.1 菌株发酵液对尖孢镰刀菌也有一定的抑制作用,但明显小于挥发物对尖孢镰刀菌的影响。

关键词:内生真菌;花生根腐病;尖孢镰刀菌;拮抗作用;生态位重叠指数

中图分类号: S435.652 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0171-04

花生是世界上分布较广泛的作物,世界六大洲都有种植。花生是我国重要的油料、经济作物,2013 年我国花生种植面积 463 万 hm^2 ,花生总产量 1 697 万 t,因此可见,我国是世界上花生总产量和花生油总产量最大的国家^[1]。近年来,我国大豆产业受到国外冲击,花生行业的稳定及可持续发展对食

用油安全有着重要意义。因土地资源有限,产区相对集中,很多地方已经形成传统的优势花生种植产业,农民常常连片、大规模种植,有的甚至已连作 10~20 年,往往导致花生根腐病、白绢病等真菌病害加剧^[2],荚果产量下降,生产成本增加^[3]。

花生根腐病俗称“鼠尾”、烂根,它是由包括尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)、腐皮镰刀菌(*Fusarium solani*)在内的镰刀菌属引起的。最新研究表明,随着花生连续种植,尖孢镰刀菌的相对丰度显著增加,连作花生根腐病发病率提高 2 倍^[4],是限制连作花生生产的关键因素。病原真菌侵染不仅引起花生减产,而且还会影响花生品质^[5]。目前,克服病原真菌引起花生减产、质量下降的方法主要是使用大量有机肥和药剂等,这不仅增加生产成本,还会引起环境污染,危害人体健康等。生物防治是一种对环境友好、对病害具有潜在

收稿日期:2015-10-27

基金项目:国家自然科学基金(编号:31370507);江苏省教育厅产业化推进项目(编号:JHB2012-16)。

作者简介:刘贵友(1973—),男,江苏南京人,博士,副教授,研究方向为微生物转化和微生物生态学。E-mail: liuguiyou2001@163.com。

通信作者:戴传超,博士,教授,研究方向为微生物生态学和土壤生态与修复。E-mail: daichuanhao@njnu.edu.cn。

衍生物中橙花素、柠檬腈和柠檬醛 1,2-丙二醇缩醛的抑菌率最好,在浓度 800.00 mg/L 时均达到 100.00%,它们的抑菌效果依次为柠檬腈>橙花素>柠檬醛 1,2-丙二醇缩醛,抑菌中浓度分别为 12.28、14.09、42.78 mg/L。

4 种农药的抑菌效果也有所不同,农药有效浓度最高时,抑菌效果顺序是多菌灵>百菌清>甲基硫菌灵>代森锰锌,当有效浓度稍降低时,多菌灵的抑菌效果最好,代森锰锌的抑菌效果最差。多菌灵、代森锰锌、百菌清、甲基硫菌灵 4 种农药的抑菌中浓度分别为 4.37、14.62、29.86、37.98 mg/L。

天然柠檬醛及其 9 种衍生物与 4 种广谱农药相比,柠檬腈、橙花素和柠檬醛 1,2-丙二醇缩醛的抑菌效果与 4 种广谱农药相近,是值得开发用于抑制油茶炭疽病菌的化合物。

参考文献:

- [1] 胡林峰,韩会娟,侯建虎. 六种植物的提取物抑菌活性研究[J]. 湖北农业科学,2011,50(14):2880-2881.
- [2] Randrianarivelo R, Sarter S, Odoux E, et al. Composition and antimicrobial activity of essential oils of *Cinnamosma fragrans*[J]. Food Chemistry,2009,114(2):680-684.

- [3] 陈兆森. 山苍子资源的综合利用[J]. 林化科技通讯,1987(1):16-20.
- [4] 周玉慧,甘仙女,陈尚钊,等. 山苍子油及柠檬醛提取分离与生物活性研究进展[J]. 生物灾害科学,2013,36(2):148-153.
- [5] 方德秋,肖顺元. 柠檬醛及香精油的抗菌性研究概述[J]. 天然产物研究与开发,1994,6(2):75-78.
- [6] 余伯良. 山苍子油对霉菌抗菌性及其与黄曲霉产毒关系的研究[J]. 微生物学通报,1988,25(3):144-147.
- [7] 江建国,陈京元,蔡三三,等. 10 种杀菌剂对大叶黄杨坏损尾孢菌的毒力测定及应用分析[J]. 湖北生态工程职业技术学院学报,2008,6(4):1-3.
- [8] Saddiq A A, Khayyat S A. Chemical and antimicrobial studies of monoterpene: citral [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2010,98(1):89-93.
- [9] 周 勇,陶君娣,张家俊. 山苍子挥发油及其主要成分柠檬醛的抗真菌作用的研究[J]. 中西医结合杂志,1984,4(9):558-559.
- [10] 周玉慧,陈尚钊,范国荣,等. 柠檬醛衍生物对植物病原菌的抑制活性[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):81-83.
- [11] 慕立义. 植物化学保护研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1944.

应用价值的综合治理方法。

研究表明,一些来源于病害植株的根际微生物可以对病菌形成拮抗作用^[6]。外源施加哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)可以诱导黄瓜发生防御反应,产生可降解病菌细胞壁的相关酶^[7],显著防治黄瓜枯萎病^[8-9]。从花生根际土壤中筛选得到侧孢短芽孢杆菌,对峙试验表明,侧孢短芽孢杆菌对花生根腐病、白绢病、疮痂病、叶斑病等病原菌有显著的抑制作用,盆栽和田间试验表明,该菌对花生根腐病、白绢病等均有明显的防治效果^[10]。

研究发现,植物内生真菌施加到土壤环境中不仅可以促进植物生长^[11-13],而且可以诱导植物幼苗提高防御能力^[14-17],减少病害发生^[18],但是内生真菌的抗病机制不是非常清楚。本研究主要探讨实验室条件下内生真菌与花生常见病害——根腐病病原菌之间的拮抗机制,以期对花生根腐病的生物防治提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试菌株 内生真菌:拟茎点霉属真菌(*Phomopsis* sp.) NJ4.1,分离自菊科茅苍术(*Rhizoma areactylodis* Lanceae)叶片^[12];角担子菌属真菌(*Ceratobasidium stevensii*) B6,分离自大戟科重阳木(*Bischofia polycarpa*)茎内皮;拟茎点霉属真菌(*Phomopsis liquidambari*)菌株 B3,分离自大戟科重阳木茎内皮^[19]。花生病原真菌:尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*,简称 *Fo*)。供试菌株均为南京师范大学江苏省功能微生物与功能基因组学重点实验室保藏菌株。

1.1.2 培养基 PDA 培养基:马铃薯 200 g,琼脂 15 g,葡萄糖 20 g,加水至 1 L;PDB 培养液:配方(不加琼脂)与 PDA 相同;单一碳/氮源培养基^[20]:碳/氮源 10 mmol/L,琼脂 15 g,加水至 1 L。内生真菌发酵液培养基:无菌发酵液 10 mL,PDA 培养基 90 mL。

1.2 内生真菌与病原菌平板对峙培养^[21]

内生真菌和花生病原菌分别接入 PDB 培养液中,28 ℃、180 r/min 振荡培养 4 d。转接至 PDA 培养基平板,28 ℃培养 5 d。在 PDA 培养基上活化的菌落边缘打取 5 mm 菌块,转接至新鲜 PDA 培养基平板上,内生真菌与病原菌之间距离 4 cm,28 ℃培养 5 d,分别观察 2 种菌生长情况。在新鲜 PDA 培养基平板上接 5 mm 空白 PDA 培养基和 5 mm 病原菌菌块作为对照。按下式计算抑菌率:抑菌率 = (对照组菌落半径 - 试验组菌落半径) / 对照组菌落半径 × 100%^[22]。

1.3 内生真菌与病原菌营养利用相似性

将内生真菌和花生病原菌分别接入 PDB 培养液中,28 ℃、180 r/min 振荡培养 4 d 活化。将活化的内生真菌和病原菌分别接种到含唯一碳/氮源的琼脂平板上,本试验共有 16 种单一碳/氮源培养基(碳/氮源:果糖,葡萄糖,棉子糖,木糖,海藻糖,组氨酸,*D*-密二糖,丙氨酸,丝氨酸,精氨酸,蔗糖,苯丙氨酸,脯氨酸,苏氨酸,亮氨酸,甲硫氨酸)。用直径为 5 mm 的打孔器分别在母菌平板上打孔,得到均匀内生真菌和病原真菌,接种到每一种碳/氮源培养基的中心。对照组为接种在不含任何碳/氮源的琼脂平板上的内生真菌和病原真菌^[23]。28 ℃培养 5 d,观察内生真菌与病原真菌的生长情

况。生态位重叠指数计算公式:生态位重叠指数 = 2 种菌共同利用的碳氮源数量 / 测试菌利用的碳氮源数量^[24]。

1.4 内生真菌的发酵液对病原菌生长的影响

将内生真菌接种到 PDB 培养液中,28 ℃培养 14 ~ 15 d,5 000 r/min 离心 10 min,收集上清液。上清液经 3 层滤纸过滤,除去菌丝体。滤液通过 0.22 μm 滤膜,得到无菌发酵原液。

无菌发酵原液用无菌水稀释,得到一系列不同浓度梯度(稀释 5.2 倍,原液)的发酵液,以 1 : 9 的体积比与 PDA 培养基混合,充分摇匀,制成平板。将 5 mm 病原真菌菌块接种在平板中心,28 ℃培养 5 d,测量菌落半径(cm)。以不加发酵液,仅加 1/10 体积无菌水的 PDA 作为对照。按“1.2”节公式计算抑菌率。

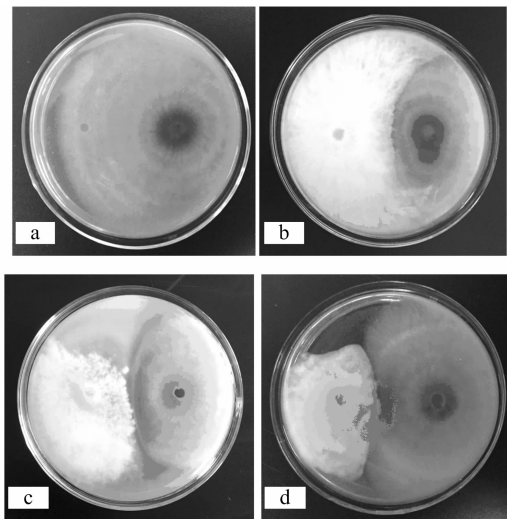
1.5 内生真菌挥发物对病原菌生长的影响

在 2 个 PDA 平板中分别接种 3 个内生真菌菌块和 1 个病原真菌菌块。将 2 个平板的皿口相扣,用封口膜封好。培养病原真菌的平板放在上面,28 ℃恒温培养 5 d。以接种病原真菌而未接种内生真菌的菌块作为对照。按“1.2”节公式计算抑菌率。

2 结果与分析

2.1 内生真菌与病原菌平板对峙培养结果

从图 1-a 可见,尖孢镰刀菌的菌落呈深色(图 1-a),肉眼观察呈紫色。从图 1-b 可见,NJ4.1 菌落包围尖孢镰刀菌菌落,尖孢镰刀菌不再生长,NJ4.1 也不再生长,对峙处有较为明显的隔离带(抑菌圈)。B6 菌株与尖孢镰刀菌的对峙处也有较为明显的隔离带(图 1-c)。内生真菌 B3 菌落呈浅色(图 1-d),肉眼观察呈淡黄色,对尖孢镰刀菌的抑制作用较为明显。



a—尖孢镰刀菌; b—NJ4.1 菌株(左)与尖孢镰刀菌(右)的对峙培养;
c—B6 菌株(左)与尖孢镰刀菌(右)的对峙培养; d—B3 菌株(左)
与尖孢镰刀菌(右)的对峙培养

图1 内生真菌与尖孢镰刀菌的对峙培养结果

由表 1 可见,对峙培养中 3 种内生真菌对尖孢镰刀菌均有不同程度的抑制,其中内生真菌 NJ4.1 菌株对尖孢镰刀菌抑制作用较为明显,抑菌率达到 38.93%。

2.2 拟茎点霉 NJ4.1 菌株与尖孢镰刀菌营养利用相似性

由表 2 可见,平板上内生真菌 NJ4.1 菌株与尖孢镰刀菌相互抑制的部分原因是两者之间营养利用具有相似性。在同

表 1 内生真菌菌株对尖孢镰刀菌的抑制作用

菌株	对照组菌落半径 (cm)	试验组菌落半径 (cm)	抑菌率 (%)
NJ4.1	3.16 ± 0.17	2.43 ± 0.24	38.93 ± 6.05
B6	3.03 ± 0.05	2.27 ± 0.17	22.89 ± 7.76
B3	2.71 ± 0.34	2.03 ± 0.22	25.00 ± 8.16

一平板上生长时,内生真菌 NJ4.1 菌株与尖孢镰刀菌发生了营养利用竞争,引起了抑制作用,内生真菌 NJ4.1 菌株与病原菌尖孢镰刀菌的生态位重叠指数为 1/3。

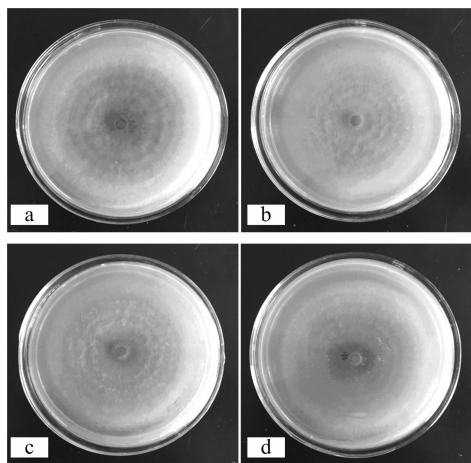
表 2 NJ4.1 菌株与尖孢镰刀菌营养利用相似性

碳/氮源	NJ4.1 菌株		尖孢镰刀菌	
	菌丝生长半径 (cm)	是否 利用	菌丝生长半径 (cm)	是否 利用
CK	2.47 ± 0.18		3.19 ± 0.19	
果糖	2.24 ± 0.24	-	2.82 ± 0.47	-
葡萄糖	2.51 ± 0.22	+	2.97 ± 0.36	-
棉子糖	1.88 ± 0.27	-	2.90 ± 0.19	-
木糖	2.50 ± 0.13	+	2.87 ± 0.37	-
海藻糖	2.83 ± 0.32	+	2.87 ± 0.51	-
组氨酸	2.19 ± 0.54	-	3.54 ± 0.38	+
D-密二糖	2.40 ± 0.37	-	2.92 ± 0.27	-
丙氨酸	2.29 ± 0.61	-	3.36 ± 0.27	+
丝氨酸	2.88 ± 0.45	+	3.02 ± 0.46	-
精氨酸	1.36 ± 0.23	-	2.51 ± 0.18	-
蔗糖	2.79 ± 0.33	+	2.88 ± 0.22	-
苯丙氨酸	2.50 ± 0.18	+	2.58 ± 0.17	-
脯氨酸	2.79 ± 0.43	+	3.48 ± 0.33	+
苏氨酸	1.84 ± 0.18	-	3.17 ± 0.27	-
亮氨酸	2.83 ± 0.31	+	3.10 ± 0.18	-
甲硫氨酸	1.93 ± 0.35	-	2.06 ± 0.29	-

注:“+”表示利用,“-”表示不利用。

2.3 内生真菌 NJ4.1 菌株发酵液对尖孢镰刀菌生长的影响

由图 2 可见,与对照组相比,不同浓度的发酵液对尖孢镰刀菌有不同程度的抑制作用。



a—对照; b—发酵原液对尖孢镰刀菌生长影响; c—发酵原液稀释 2 倍对尖孢镰刀菌生长影响; d—发酵原液稀释 5 倍对尖孢镰刀菌生长影响

图 2 NJ4.1 菌株发酵液对尖孢镰刀菌的抑制作用

由表 3 可见,加入发酵原液的 5、2 倍稀释液及未稀释的发酵原液培养基对尖孢镰刀菌的抑菌率分别为 1.91%、3.18%、10.83%,表明发酵液浓度越大,抑菌作用越明显。

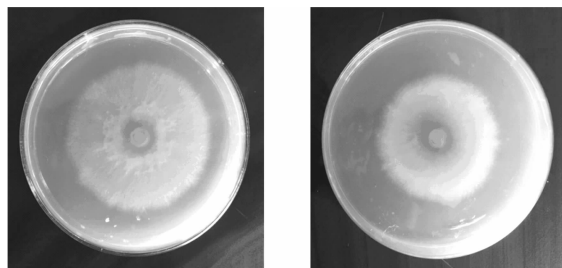
表 3 NJ4.1 菌株发酵液对尖孢镰刀菌的抑制作用

NJ4.1 菌株 发酵液	试验组菌落半径 (cm)	抑菌率 (%)
稀释 5 倍	3.42 ± 0.08	1.91 ± 2.25
稀释 2 倍	3.38 ± 0.06	3.18 ± 1.80
发酵原液	3.11 ± 0.07	10.83 ± 2.11

注:对照组菌落半径为(3.49 ± 0.09) cm。

2.4 内生真菌 NJ4.1 的挥发物对尖孢镰刀菌生长的影响

与对照组(图 3-a)相比,NJ4.1 挥发物对病原真菌尖孢镰刀菌的抑制作用明显(图 3-b)。测定结果表明,对照组、试验组菌落半径分别为(2.76 ± 0.10)、(2.26 ± 0.14) cm。NJ4.1 挥发物对尖孢镰刀菌的抑菌率为 18.12%。



a. 对照

b. NJ4.1挥发物

图 3 NJ4.1 菌株挥发物对尖孢镰刀菌的抑制作用

3 结论与讨论

研究发现,在土壤中施加广谱植物内生真菌拟茎点霉 B3 菌株,可以显著加快连作土壤中植物凋落物中纤维素、木质素降解和植物残茬的腐解,协同土中 G⁻ 细菌加速酚酸降解,减少化感物质的自毒作用,诱导植物幼苗提高防御能力^[14-17];此外,可以有效改变土壤微生物区系,改善土壤酶活性,改良土壤环境,提高花生产量^[11-13],克服花生连作障碍。施加到土壤环境中的拟茎点霉 NJ4.1、拟茎点霉 B3 和角担子菌 B6 不仅可以促进植物生长,而且可以增强植物防御系统,减少病害发生,但是抗病机制尚未清楚,因此揭示土壤中施加内生真菌抵御花生病害的抗病机制,对于克服花生连作障碍具有重要意义。

植物内生菌与病原菌具有相同的生态位,在植物体内相互竞争空间、营养。内生真菌为占据有效生态位,通过产生次级代谢产物和一些抗菌成分,强烈抑制病原菌生长,使病原菌得不到正常的营养供给而消亡,从而增强宿主抵御病害的能力^[25]。分离自茅苍术内生荧光假单胞菌 ALEB 7B,能够显著抑制罗耳阿太菌菌株 SY4 的生长,并且能够显著降低茅苍术组培苗白绢病的发病率^[26]。近年来,关于内生真菌拟茎点霉属次级代谢产物领域的研究倍受关注。分离自蒲公英拟茎点霉 PG23 的菌株培养滤液含有抗菌化合物 2-羟基-6-甲基苯酸,对一些病原菌显示出拮抗作用,体外培养表现出强烈的抑菌活性^[27]。分离自箭叶菊 (*Senecio kleiniiiformis*) 拟茎点霉 No. 7133,它合成的 4 种次生代谢产物也表现出不同的抑菌活性^[28]。但是由于拟茎点霉属在种级水平的鉴定存在实际困难,一些能在体外发挥作用的次级代谢产物功效目前尚不清楚^[29-30]。实验室条件下,绿色木霉 TR28 菌株与尖孢镰刀菌平板对峙结果表明,绿色木霉生长快于尖孢镰刀菌 FO2G1,接触后 FO2G1 生长停止^[31]。生防菌 JK-2(短短芽孢杆菌,

Brevibacillus brevis) 对尖孢镰刀菌效果特别显著^[32]。

本研究表明,内生真菌 NJ4.1、B3 和 B6 菌株对尖孢镰刀菌均有明显拮抗作用,其中 NJ4.1 菌株对尖孢镰刀菌抑制作用最为明显,抑菌率达到 38.93%。进一步研究发现,NJ4.1 菌株和尖孢镰刀菌生态位重叠指数为 1/3,NJ4.1 菌株生长过程中产生的挥发物对尖孢镰刀菌的抑菌率为 18.15%,NJ4.1 菌株发酵液对尖孢镰刀菌也有一定的抑制作用。

如何鉴定出 NJ4.1 菌株的挥发物和发酵液中的次生代谢产物以及内生真菌如何在自然环境下抑制病菌生长,促进花生植株抵御病菌侵染,减少花生患病概率,提高花生产量,均有待进一步探讨。

参考文献:

- [1] United States Department of Agriculture. Peanut area, yield, and production[J/OL]. [2015-10-01]. <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdreport.aspx?hidReportRetrievalName=BVS&hidReportRetrievalID=918&hidReportRetrievalTemplateID=1>.
- [2] Li X G, Ding C F, Zhang T L, et al. Fungal pathogen accumulation at the expense of plant-beneficial fungi as a consequence of consecutive peanut monoculturing[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 72: 11-18.
- [3] Lemon R G, Lee T A, Black M, et al. Texas agricultural extension service fact sheet B-1514 [J]. *Texas Agricultural Extension Service*, 2001, 48: 48-55.
- [4] Wang M Z, Chen X N. Obstacle and countermeasure of sustainable high yield for peanut in low-hilly red soil region[J]. *Journal of Peanut Science*, 2005, 34: 17-22.
- [5] 王兴祥, 张桃林, 戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展[J]. *土壤*, 2010, 42(4): 505-512.
- [6] Zhao S, Liu D Y, Ling N, et al. Bio-organic fertilizer application significantly reduces the *Fusarium oxysporum* population and alters the composition of fungi communities of watermelon *Fusarium* wilt rhizosphere soil[J]. *Biology and Fertility Soils*, 2014, 50(5): 765-774.
- [7] Blaya J, López-Mondéjar R, Lloret E, et al. Changes induced by *Trichoderma harzianum* in suppressive compost controlling *Fusarium* wilt[J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2013, 107(1): 112-119.
- [8] Chen L H, Yang X M, Raza W, et al. Solid-state fermentation of agro-industrial wastes to produce bioorganic fertilizer for the biocontrol of *Fusarium* wilt of cucumber in continuously cropped soil[J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102(4): 3900-3910.
- [9] Zhang F G, Zhu Z, Yang X M, et al. *Trichoderma harzianum* T-E5 significantly affects cucumber root exudates and fungal community in the cucumber rhizosphere[J]. *Applied Soil Ecology*, 2013, 72: 41-48.
- [10] 迟玉成, 赵显民, 许曼琳, 等. 一株花生根际生防菌及其制备方法和应用: CN103756930A [P]. 2014-04-30.
- [11] 戴传超, 谢慧, 王兴祥, 等. 间作药材与接种内生真菌对连作花生土壤微生物区系及产量的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(8): 2105-2111.
- [12] 王宏伟, 王兴祥, 吕立新, 等. 施加内生真菌对花生连作土壤微生物和酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(10): 2693-2700.
- [13] 朱虹, 王宏伟, 杜威, 等. 内生真菌重组漆酶 rLACB3 修复花生连作土壤[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(7): 1920-1927.
- [14] 陈晏, 戴传超, 王兴祥, 等. 施加内生真菌拟茎点霉 (*Phomopsis* sp.) 对茅苍术凋落物降解及土壤降解酶活性的影响[J]. *土壤学报*, 2010, 47(3): 537-544.
- [15] Chen Y, Wang H W, Li L, et al. The potential application of the endophyte *Phomopsis liquidambari* to the ecological remediation of long-term cropping soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2013, 67: 20-26.
- [16] 谢星光, 戴传超, 苏春沧, 等. 内生真菌对花生残茬腐解及土壤酚酸含量的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(11): 3836-3845.
- [17] Zhou J, Kang L, Wang H W, et al. Liquid laccase production by *Phomopsis liquidambari* B3 accelerated phenolic acids degradation in long-term cropping soil of peanut[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science*, 2014, 64(8): 683-693.
- [18] Dai C C, Chen Y, Wang X X, et al. Effects of intercropping of peanut with the medicinal plant *Atractylodes lancea* on soil microecology and peanut yield in subtropical China[J]. *Agroforestry Systems*, 2013, 87(2): 417-426.
- [19] 戴传超, 余伯阳, 赵玉婷, 等. 大戟科 4 种植物内生真菌分离与抑菌研究[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2006, 30(1): 70-83.
- [20] 李忠, 金道超, 邹晓, 等. 蝉拟青霉菌丝对不同碳氮源利用的研究[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(18): 5517-5518.
- [21] 江淑平, 王志勇. 内生真菌感染对高茅芋褐斑病抗性的研究[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(17): 4345-4346.
- [22] 邹勇, 牛永春. 瓜类植物内生真菌对 3 种土传病菌的拮抗作用研究[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(23): 9585-9588.
- [23] Ludue? a, L M, Taurian T, Tonelli M L, et al. Biocontrol bacterial communities associated with diseased peanut (*Arachis hypogaea* L.) plants[J]. *European Journal of Soil Biology*, 2012, 53: 48-55.
- [24] Wilson M, Lindow S E. Coexistence among epiphytic bacterial populations mediated through nutritional resource partitioning [J]. *Applied Environmental Microbiology*, 1994, 60(12): 4468-4477.
- [25] Gunatilaka A A L. Natural products from plant-associated microorganisms: distribution, structural diversity, bioactivity, and implications of their occurrence[J]. *Journal of Natural Products*, 2006, 69(3): 509-526.
- [26] Zhou J Y, Zhao X Y, Dai C C. Antagonistic mechanisms of endophytic *Pseudomonas fluorescens* against *Athelia rolfsii* [J]. *Journal of Applied Microbiology*, 2014, 117(4): 1144-1158.
- [27] Zhang H R, Xiong Y C, Zhao H Y, et al. An antimicrobial compound from the endophytic fungus *Phoma* sp. isolated from the medicinal plant *Taraxacum mongolicum* [J]. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2013, 44(2): 177-181.
- [28] Hussain H, John M, Al-Harrasi A, et al. Phytochemical investigation and antimicrobial activity of an endophytic fungus *Phoma* sp. [J]. *Journal of King Saud University-Science*, 2015, 27(1): 92-95.
- [29] Li S, Hartman G L, Boykin D L. Aggressiveness of *Phomopsis longicolla* and other *Phomopsis* spp. on soybean [J]. *Plant Disease*, 2010, 94(8): 1035-1040.
- [30] Li Y Y, Wang M Z, Huang Y J, et al. Secondary metabolites from *Phomopsis* sp. A123 [J]. *Mycology*, 2010, 1(4): 254-261.
- [31] 纪明山, 李博强, 陈捷, 等. 绿色木霉 TR-8 菌株对尖孢镰刀的拮抗机制[J]. *中国生物防治*, 2005, 21(2): 104-108.
- [32] 葛慈斌, 刘波, 蓝江林, 等. 生防菌 JK-2 对尖孢镰刀菌抑制特性的研究[J]. *福建农业学报*, 2009, 24(1): 29-34.