

一株辣椒根腐病拮抗木霉菌 Tb1 的筛选与鉴定

申 君^{1,2}, 杨绍丽², 谷清义¹, 吴仁锋^{2*}

(1. 信阳农林学院园艺学院, 河南 信阳 464000; 2. 武汉市农业科学院蔬菜研究所, 武汉 430065)

摘 要:以辣椒根腐病菌(*Fusarium oxysporum* schlecht)为靶标菌,采用平板对峙法筛选出具有较高拮抗活性的菌株,研究该菌株的抑菌谱和稳定性,并结合菌株形态特征和 18S rDNA 基因序列分析确立其分类地位;采用生长速率法测定该菌株孢子悬液对辣椒根腐病菌和豇豆枯萎病菌抑制率,以期对辣椒根腐病的绿色防控提供理论依据。结果表明:筛选得到 1 株对辣椒根腐病菌拮抗作用较好的菌株 Tb1,对辣椒根腐病抑制率为 73.47%,经形态特征观察和 18S rDNA 基因序列分析,将其鉴定为短密木霉菌;同时 Tb1 菌株对番茄果腐病菌、豇豆枯萎病菌、茄子烂秆病菌、番茄枯萎病菌、茄子褐纹病菌、黄瓜枯萎病菌、番茄早疫病病菌、西瓜枯萎病菌和番茄灰霉病菌等 9 种病原菌均具有不同的抑菌活性,抑制率在 66.50%~85.79%;经 10 代继代培养后, Tb1 菌株对辣椒根腐病的抑制率为 80.87%; Tb1 菌株孢子悬液(8.05×10^7 cfu/mL)对辣椒根腐病原菌和豇豆枯萎病原菌抑制效果最好,其抑制率为 98.35% 和 90.27%。

关键词:辣椒根腐病;拮抗菌;短密木霉;筛选;鉴定

中图分类号:S641.3

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)05-0062-05

Isolation and Identification of An Antagonistic Fungus Tb1 against *Fusarium solani* (Mart.) Causing Pepper Root Rot

SHEN Jun^{1,2}, YANG Shaoli², GU Qingyi¹, WU Renfeng^{2*}

(1. College of Horticulture, Xinyang Agriculture and Forestry University, Xinyang 464000; 2. Institute of Vegetable, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430065, China)

Abstract: The strain with higher fungicidal activity against pepper root rot was obtained by confront culture method. The antifungal spectrum and stability of antagonistic strain were detected using the plate confrontation method. Its taxonomic status was defined using morphological identification, and 18S rDNA sequencing. Additionally, the inhibition rate of spore suspension was determined by the growth rate method against pepper root rot and cowpea wilt disease. The results showed that the antifungal activity of Tb1 against *F. solani* was 73.47%. Strain Tb1 was identified as *T. brevicompactum* based on morphological and cultural features, as well as multiple sequences analyses. The antifungal activity of Tb1 against *R. solani*, *F. oxysporum* schl. f. sp., *P. vexans*, *F. oxysporum* f. sp. lycopersici, *P. vexans*, *F. oxysporum* sp. cucumebrium, *A. solani*, *F. oxyporum* f. sp. niveum and *B. cinerea* was from 66.50% to 85.80%. After the subculture of 10 generations, the antifungal activity of Tb1 against *F. solani* was 80.87%. Additionally, the control efficiency of Tb1 spore suspension (8.05×10^7 cfu/mL) to pepper root rot and cowpea wilt disease was the best, and the fungicidal activity were 98.35% and 90.27%, respectively.

Key words: Pepper root rot; Antagonistic fungus; *T. brevicompactum*; Isolation; Identification

辣椒(*Capsicum annuum* L.)是茄科一年生草本植物,在全世界范围内被广泛种植。我国辣椒种

植面积高达 1.59×10^6 hm², 占世界辣椒总产量的 46%, 是世界上最大的辣椒生产和消费国^[1-2]。武汉市郊区是早春大中棚辣椒的主要产区,随设施蔬菜种植面积不断增加、栽培年限延长及灌溉和粪肥使用不当等,致使蔬菜真菌性病害逐年加重,尤其是土传病害最为严重,其中对辣椒影响最为严重的是由真菌有丝分裂孢子类群镰孢霉属茄镰孢菌[*Fusarium solani* (Mart.) App. et Wollenw, FOS]引起的辣椒根腐病^[3],严重时发病率高

收稿日期:2019-12-04

基金项目:武汉市农业科学院科技创新项目(CX201702);河南省高等学校重点科研项目(21B210009);信阳农林学院高水平科研孵化器建设项目(FCL202101)

作者简介:申 君(1985-),女,讲师,博士,从事蔬菜病虫害防治研究。

通讯作者:吴仁锋,男,硕士,高级农艺师,E-mail: wuhanwurenfeng@126.com

达 60%~80%,甚至全田死亡,给辣椒生产造成严重损失,严重制约辣椒产业快速发展^[4-5]。

目前,辣椒根腐病仍采用化学杀菌剂防治为主的综合治理^[6],存在施药困难、成本高,容易引起抗药性、残留超标及环境污染等问题,不能从根本上解决辣椒根腐病的防治难题。为寻求有效的防治措施,减少化学农药残留,提高农产品品质的生防真菌已成为研究热点。

木霉菌是一类分布广、繁殖快、适应性强、抗菌谱广且能促进植物生长的生防真菌。迄今已报道的木霉属真菌约 275 种^[7],至少对 18 个属 29 种植物病原菌具有拮抗作用^[8],如对辣椒疫病菌(*Phytophthora capsici*)、黄瓜枯萎病菌(*F. oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)、玉米立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)和苦瓜叶斑病菌(*Alternaria cucumerina*)等作物病原菌有较好的抑制作用^[9-12],筛选获得的对辣椒根腐病有较好防治作用的生防菌主要有地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)^[13]和枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)^[14]。本研究从武汉不同设施蔬菜根际土壤中筛选出一株对辣椒根腐病具有较好防效的拮抗木霉菌 Tb1,通过形态观察和 18S rDNA 基因序列分析,明确其分类地位,同时对其抑菌谱和稳定性进行测定,以期对设施蔬菜土传病害的绿色防控提供新的菌株资源和理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试菌株:从武汉设施蔬菜地感病植株上分离纯化获得辣椒根腐病菌、豇豆枯萎病菌、茄子烂秆病菌、茄子褐纹病菌、番茄果腐病菌、番茄枯萎病菌和黄瓜枯萎病菌以及从黄陂区武湖基地设施蔬菜根系土壤中分离纯化获得 40 株真菌,番茄灰霉病菌、番茄早疫病病菌和西瓜枯萎病菌由长江大学农学院惠赠。

固体和液体马铃薯葡萄糖琼脂(Potato dextrose agar, PDA)培养基:马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂粉 20 g(液体 PDA 不加)、蒸馏水 1 L, pH 自然,1×10⁵ Pa 高压灭菌 30 min。

1.2 方 法

1.2.1 拮抗菌的筛选

采用平板对峙法^[15]对上述获得有拮抗效果的真菌菌株进行复筛。将 FOT 和具有拮抗效果菌株同步进行活化 5 d 至菌落分布均匀,用打孔器打成直径 5 mm 的菌饼,分别将具有活性的真菌菌株和病原菌同时接种在内径 9.0 cm 的 PDA 平板上,

菌饼圆心相距约 4.5 cm,连线经过平板圆心;以仅接病原菌为对照。接种后的平板倒置于 28 ℃ 培养箱培养 7 d,测量病原菌对照菌落半径和病原菌落指向拮抗菌的半径。每个对峙试验重复 3 次。按下面公式计算拮抗菌株对病原菌的抑菌率^[15]。

$$\text{抑菌率}(\%) = \frac{\text{病原菌对照菌落半径} - \text{病原菌指向拮抗菌半径}}{\text{病原菌对照菌落半径}} \times 100$$

1.2.2 拮抗菌株形态学鉴定

将待鉴定菌株接种到 PDA 平板上,置于 28 ℃ 恒温培养,观察菌落形态和颜色,5 d 后制作玻片在光学显微镜下观察分生孢子及分生孢子梗的形态特征。

1.2.3 拮抗菌株分子生物学鉴定

按 OMEGA HP Fungal DNA Kit 说明书提取基因组 DNA,选用真菌 18S rDNA 通用引物 ITS1: 5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3' 和 ITS4: 5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3' 对菌株 MA4 进行 PCR 扩增。20 μL PCR 反应体系:10 μmol/L 的引物 ITS1/ITS4 各 1 μL、I-5™ 2X High-Fidelity Master Mix 10 μL、DNA 模板 1 μL,补充 ddH₂O 至 20 μL。PCR 反应程序:98 ℃ 2 min,98 ℃ 10 s,55 ℃ 15 s,72 ℃ 15 s,35 个循环;72 ℃ 10 min,16 ℃ 10 min^[16]。扩增产物送武汉擎科创新生物技术有限公司进行测序,对所得序列进行拼接。将其在 NCBI BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) 中进行比对,确定待鉴定菌株的菌种。用 MEGA6.0.6 软件与已知菌种 ITS 序列作同源性比较,并对检索获得同源性较近的菌株采用邻接法(Neighbor-Joining, NJ)构建系统发育树(Boot-strap=1000),分析亲缘关系和系统发育。

1.2.4 拮抗菌株抑菌谱测定

利用平板对峙法在 PDA 平板上测定 Tb1 菌株对番茄果腐病、茄子烂秆病、茄子褐纹病、辣椒根腐病、黄瓜枯萎病、番茄灰霉病、番茄早疫病和西瓜枯萎病等 8 种蔬菜病害病原菌的抑制作用。分别以仅接病原菌为对照,接种后的平板倒置于 28 ℃ 培养箱培养 7~10 d,测量病原菌对照菌落半径和病原菌落指向拮抗菌的半径。3 次重复。

1.2.5 拮抗菌株稳定性测定

在 PDA 培养基平板上对筛选到的 Tb1 菌株连续进行 10 代继代培养,每一代分别以 FOS 和 FOT 为指示菌,利用平板对峙法测定 Tb1 菌株拮抗活性的稳定性。

1.2.6 拮抗真菌孢子悬液活性测定

采用生长速率法^[17]测定拮抗真菌孢子悬液对病原菌抑制作用。孢子悬液的制备:将接种 Tb1 菌株的试管置于 28℃、L:D=12:12 的恒温培养箱中培养 7 d,用无菌水将其制成浓度为 8.05×10^7 cfu/mL 的孢子悬液作为原液,并将其依次稀释为 10^7 、 10^6 、 10^5 、 10^4 、 10^3 和 10^2 ,分别取 100 μL 孢子液涂于 PDA 平板培养基上,中央接 Φ=5mm 豇豆枯萎病菌和辣椒根腐病菌菌饼,以仅接豇豆枯萎病菌和辣椒根腐病菌为对照,每处理 3 个重复。28℃ 恒温培养 5 d 和 7 d,十字交叉法测量病原菌菌落直径,并计算菌丝生长抑制率^[18]。

$$\text{生长抑制率}(\%) = \frac{\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}}{\text{对照菌落直径} - \text{菌饼直径}} \times 100$$

1.2.7 数据统计与分析

采用 Excel 2016 和 SPASS 17.0 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

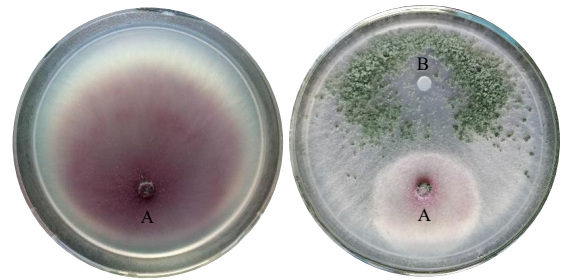
2.1 拮抗菌株的筛选及对 9 种植物病原菌的抑菌效果

采用平板对峙法从 40 株真菌中筛选出一株对 FOS 具有较好抑菌效果的菌株 Tb1,其抑菌率为 73.47%(表 1 和图 1)。同时对其抑菌谱进行测试,发现 Tb1 菌株还对番茄果腐病菌、茄子烂秆病菌、番茄枯萎病菌、茄子褐纹病菌、黄瓜枯萎病菌、番茄早疫病菌、西瓜枯萎病菌和番茄灰霉病菌等 9 种植物病原菌具有不同的抑菌活性(表 1),其中对番茄灰霉病菌的抑制效果最好,抑制率为 85.79%;其次是对茄子烂秆病菌、番茄早疫病菌、茄子褐纹病菌、黄瓜枯萎病菌、番茄枯萎病菌、豇豆枯萎病菌、西瓜枯萎病菌的抑制效果较好,抑

表 1 拮抗真菌 Tb1 对辣椒根腐病及其他病原菌的抑制作用

病原菌	菌落半径(cm)	抑制率(%)
辣椒根腐病菌	1.60	73.47±0.00c
豇豆枯萎病菌	1.67	72.99±1.08c
番茄果腐病菌	2.03	66.50±2.39d
茄子烂秆病菌	1.07	83.50±1.36a
番茄枯萎病菌	1.50	74.87±1.93bc
茄子褐纹病菌	1.60	77.59±1.00b
黄瓜枯萎病菌	1.57	75.52±0.52bc
番茄灰霉病菌	0.83	85.79±0.57a
番茄早疫病菌	1.00	82.05±1.04a
西瓜枯萎病菌	1.23	77.70±0.60b

注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,下同



A:辣椒根腐病菌;B:Tb1 菌株

图 1 Tb1 菌株对辣椒根腐病菌的抑制作用(7 d)

制率在 72.99%~83.50%;对番茄果腐病菌的抑制效果相对较差,抑制率为 66.50%。由此可见,Tb1 菌株是一株抑菌谱较广的真菌。

2.2 拮抗真菌的鉴定

2.2.1 形态鉴定

在 PDA 平板培养基上,Tb1 菌株(图 2)的菌落初期同样生长平整呈白色,3 d 白色菌丝基本长至培养皿边缘,且边缘有致密的白色孢子层,随培养时间延长,孢子层逐渐变成深绿色。分生孢子梗主分支呈树状排列,上有 2~3 个次级分支,基部变细、中间膨大、以大角度伸出,分生孢子近球形。Tb1 菌株在 PDA 平板培养基上 28℃ 培养 144 d,菌落由白色逐渐变为深绿色,轻度毛发状。孢子梗丛束状长出,排成环状带。分枝众多,主分枝上又以 2~3 个为一组长出次级分枝,分枝角度大。瓶梗中部较宽,两端细。分生孢子椭圆形或近圆形,单个孢子青绿色。参照 *Trichoderma* and *Hypocrea* Taxonomy 对短密木霉形态分类鉴定的描述,初步断定 Tb1 菌株为短密木霉(*Trichoderma brevicompactum*)。



注:A 和 B 为 Tb1 菌株培养 72 h 和 144 h 的菌落形态;
C 为显微(40×)结构:a-分生孢子,b-瓶梗,c-分生孢子梗

图 2 Tb1 菌株的菌落和显微形态特性

2.2.2 分子鉴定

利用真菌通用引物 ITS1/ITS4 对 Tb1 菌株 18S rDNA 基因进行 PCR 扩增,得到大小为 633 bp 的 ITS 序列片段,Gen Bank 中注册登录号为 MK392047。将测得的 Tb1 菌株的 ITS 基因片段提交到 Isth (<http://isth.info/tools/molkey/index.php>) 中进行鉴定,共发现 5 个分别位于 83、105、267、425

和 517 碱基处的特异种源标记,种属鉴别为短密木霉;同时将其与已在 NCBI 上登记 18 个木霉菌的核酸序列进行同源性比对(见图 3),发现 Tb1 菌株与短密木霉的亲缘关系最近,相似性为 100%,由此可确定 Tb1 菌株为短密木霉菌。

2.3 拮抗真菌 Tb1 稳定性

利用平板对峙法连续 10 代测定木霉菌株 Tb1 对 FOS 和 FOT 的抑制作用,结果如表 2 所示。短密木霉 Tb1 对 FOS 和 FOT 的抑制率在 73.47%~82.00%,表明 Tb1 菌株具有稳定的拮抗活性。

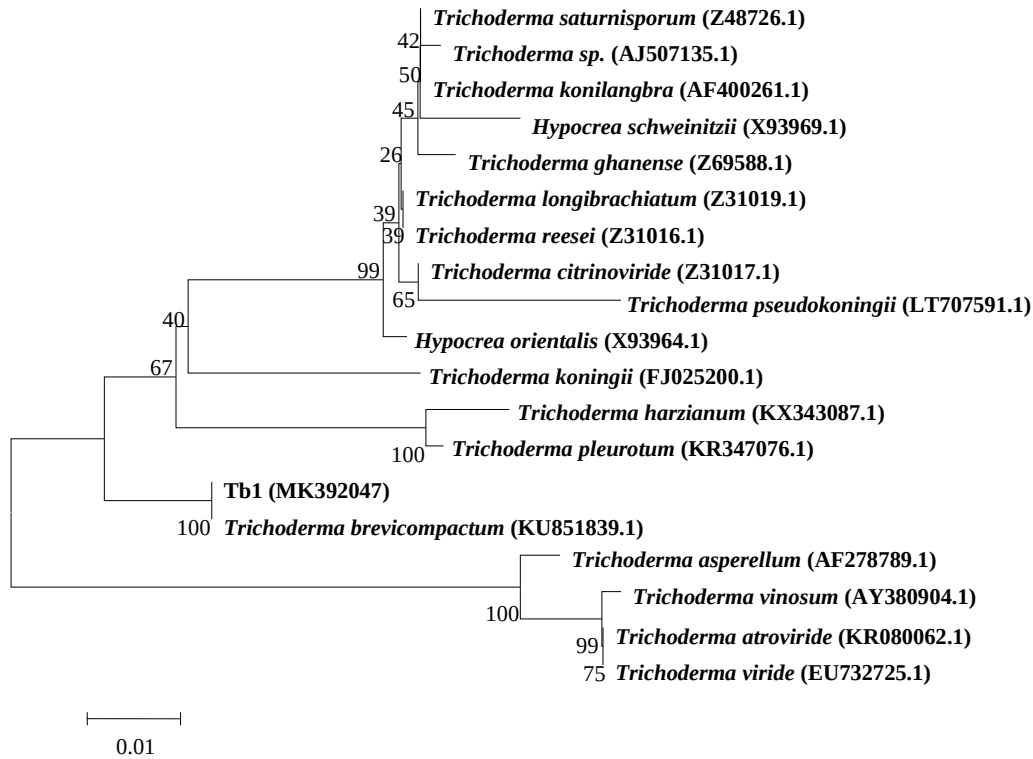


图3 Tb1 菌株 18S rDNA-ITS 系统发育树的构建

表 2 拮抗真菌 Tb1 的稳定性

代数	FOS		FOT	
	菌落半径 (cm)	抑制率(%)	菌落半径 (cm)	抑制率(%)
1	1.60	73.47±0.00b	1.23	79.44±0.56a
2	0.97	80.67±2.67a	1.13	77.27±1.75a
3	0.97	81.52±2.55a	1.23	76.42±0.64a
4	1.10	81.13±0.99a	1.20	79.42±0.99a
5	0.90	82.00±1.15a	1.03	79.33±0.67a
6	1.03	80.01±0.65a	1.17	77.43±0.64a
7	0.97	77.68±0.77a	0.97	77.67±1.54a
8	0.87	80.95±0.73a	0.97	78.75±1.94a
9	0.87	80.87±0.74a	1.00	77.92±1.27a
10	0.87	80.87±0.74a	0.90	80.13±0.00a

2.4 拮抗真菌 Tb1 孢子悬液的活性

由表 3 可知,不同浓度 Tb1 菌株的孢子悬液对辣椒根腐病菌和豇豆枯萎病菌均有较好的抑制作用,且其抑制作用均随浓度的增加而增加,其抑制率分别由 70.81%增至 98.35%、66.67%增至 90.27%,且 6 个浓度的 LJ11 菌株均可完全覆盖病原菌。

表 3 拮抗真菌 Tb1 对 FOS 和 FOT 的抑制作用

Tb1 浓度 (cfu/mL)	FOS		FOT	
	菌落半 径(cm)	抑制率(%)	菌落半 径(cm)	抑制率(%)
8.05×10 ⁷	0.63	98.35±0.41a	1.28	90.27±0.81a
8.05×10 ⁶	1.33	89.65±0.89b	1.48	87.79±0.67a
8.05×10 ⁵	2.13	79.71±0.41c	2.07	80.54±0.76b
8.05×10 ⁴	2.22	78.67±0.50c	2.42	76.63±0.67c
8.05×10 ³	2.62	73.71±0.38e	2.97	69.36±1.19d
8.05×10 ²	2.85	70.81±0.89f	3.18	66.67±1.08e

3 讨 论

本研究筛选出的拮抗木霉菌株 Tb1 来源于武汉设施蔬菜根际土壤,根据形态学和分子生物学鉴定结果初步鉴定其为短密木霉菌。大量研究表明,短密木霉有较好的生防应用潜力。*T. brevicompactum* 产生的木霉素对多种病原菌有较高的抑菌活性^[19];2 株(TR1294 和 TR1295)短密木霉的发酵液对玉蜀黍赤霉菌、黄瓜灰霉病菌、小麦纹枯病菌、番茄早疫病菌、棉花枯萎病菌的抑制率

均达72%以上^[20];短密木霉菌株BF06对引起黄瓜枯萎病、茎基腐病、菌核病、根腐病和疫病的病原菌的防效达60%以上,对黄瓜枯萎病和茎基腐病的防治效果最好,防效分别达90.4%和88.8%^[21];短密木霉GAS1-1对玉米镰孢茎腐病菌、玉米穗腐病菌、棉花枯萎病菌、玉米腐霉茎腐病菌和灰葡萄孢霉均具有较好的拮抗效果,尤其对玉米腐霉茎腐病菌的抑制作用最好,抑菌率达100.00%^[22]。本研究还发现短密木霉Tb1对辣椒根腐病、豇豆枯萎病菌、番茄果腐病菌、茄子烂秆病菌、番茄枯萎病菌、茄子褐纹病菌、黄瓜枯萎病菌、番茄早疫病病菌、西瓜枯萎病菌和番茄灰霉病菌等10种植物病原菌的抑菌率均在60%以上,平板接种5 d时短密木霉Tb1菌丝可侵入10种植物病原菌内部,7 d时辣椒根腐病、茄子烂秆病、茄子褐纹病、番茄早疫病、西瓜枯萎病和番茄灰霉病等6种病原菌均可被短密木霉Tb1完全覆盖,并产生大量绿色孢子堆,表明该菌株对6种病原菌的拮抗能力较强。此外,发现Tb1菌株对黄瓜枯萎病菌的抑菌效果为75.52%,与Li等^[21]的研究结果相似。

生防菌是植物病害防治的主要趋势,在实际应用中存在活菌的存活率、定殖、繁殖能力、稳定性等问题。因此将短密木霉连续继代培养10代后,发现其对辣椒根腐病和豇豆枯萎病的抑菌率分别为80.87%和80.13%。由此可见,短密木霉菌株Tb1是一株稳定性高且对多种植物病原菌具有生物防治潜力的菌株,但关于该菌株对植物病原菌的作用机制以及在田间实际应用还有待于深入研究,为研制绿色生物菌剂提供理论基础和依据。

参考文献:

- [1] 郑井元,李雪峰,周书栋,等. 2017年度辣椒科学研究进展[J]. 中国蔬菜, 2018(5): 9-15.
- [2] 王继榜. 我国辣椒产业现状及发展趋势综述[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(1): 64, 78.
- [3] 段 曦. 嫁接提高辣椒根腐病和青枯病抗性的机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [4] 刘丽云, 刘晓林, 刘志恒, 等. 辣椒根腐病生物学特性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2007, 38(1): 54-58.
- [5] 祁之秋, 李兴海, 王英姿, 等. 辣椒根腐病内生拮抗细菌筛选及菌株Hj33-7的鉴定和抗菌活性[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(1): 93-98.
- [6] 陈建爱, 周善跃, 杨焕明, 等. 黄绿木霉T1010防治辣椒根腐病拮抗剂[J]. 农学学报, 2012, 2(10): 14-18.
- [7] Zhang G Z, Zhang X J, Zhou F Y, et al. Two Chinese new records of the genus *Trichoderma* in the Stromaticum clade [J]. Microbiology China, 2018, 45 (5): 1120-1126.
- [8] 高雪丽. 侧钩木霉Y01的分离、鉴定与固态发酵产孢研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [9] 刘 青, 李 升, 梁才康, 等. 贵州地区木霉菌分离鉴定及对辣椒疫霉的拮抗作用[J]. 微生物学通报, 2019, 46(4): 741-751.
- [10] 朱萍萍, 凌 健, 席亚东, 等. 蔬菜土传病害生防木霉菌菌株资源的筛选及其防治效果评价[J]. 中国蔬菜, 2015(8): 28-33.
- [11] Priya S, Upadhyay J P. Antagonistic potential of *Trichoderma harzianum* against *Rhizoctonia solani* causing banded leaf and sheath blight of maize[J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2017, 6 (10): 886-890.
- [12] Khan B, Akash Z, Asad S, et al. Antagonistic potential of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium oxysporum* f. sp. Cubense associated with Panama wilt of banana[J]. Pakistan Journal of Phytopathology, 2017, 29 (1): 111-116.
- [13] 曲春鹤, 何付丽, 刘培福, 等. 辣椒根腐病拮抗细菌的筛选、鉴定及其抑菌促生作用[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(7): 89-94.
- [14] 常 媛, 杨兴堂, 姜传英, 等. 一株能拮抗3种土传病害病原真菌的长枝木霉[J]. 草业科学, 2017, 34(2): 246-254.
- [15] 张丽荣, 康萍芝, 沈瑞清. 木霉菌对土传病害病原真菌的拮抗作用[J]. 内蒙古农业科技, 2007(5): 48-50.
- [16] 申 君, 杨绍丽, 吴仁锋. 豇豆枯萎病拮抗木霉MA4菌株的分离与鉴定[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(2): 79-82, 95.
- [17] 阴 筱, 李效尊, 徐国鑫, 等. 莲藕腐败病病原旋柄腐霉的生物学特性及药剂室内毒力测定[J]. 北方园艺, 2018(4): 77-81.
- [18] 韦文添. 不同杀菌剂对油梨溃疡病的抑菌效果[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(2): 68-70, 91.
- [19] Tijerino A, Cardoza R E, Moraga J, et al. Overexpression of the trichodiene synthase gene *tri5* increases trichodermin production and antimicrobial activity in *Trichoderma brevicompactum* [J]. Fungal Genetics and Biology, 2011, 48(3): 285-296.
- [20] 吴紫燕, 沈少力, 糜 芳, 等. 作物根围土壤木霉菌物种多样性及其体外拮抗病原菌效应[J]. 菌物研究, 2017, 15(3): 177-187.
- [21] Li J Y, Lu C, Liu T, et al. *Trichoderma brevicompactum* BF06, a novel strain with potential for biocontrol of soil-borne diseases and promotion of plant growth of cucumber [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2018, 34(3): 449-460.
- [22] 郭 成, 张小杰, 张有福, 等. 短密木霉菌株GAS1-1的分离鉴定、拮抗作用及其生物学特性[J]. 植物保护学报, 2019, 46(2): 305-312.

(责任编辑:王 昱)