

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2022.02.006

不同木霉菌对火龙果溃疡菌的拮抗效果研究

陈焕柱¹, 唐应志¹, 黄建祥², 彭寿宏¹, 苏明¹, 袁水清¹

1. 海南北纬十八度果业有限公司, 海南 东方 572600

2. 海南枫之恋农业有限公司, 海南 东方 572600

摘要: 火龙果溃疡病是危害火龙果的重要病害之一. 为有效开展火龙果溃疡病的生物防治, 本研究比较了 17 种木霉菌的菌丝生长速率、产孢量, 并通过对峙抑制试验和盆栽试验等比较不同木霉菌对火龙果溃疡病的抑制作用, 从中筛选出了木霉菌 KN-28, 其抗生效果最强, 其无菌发酵液对火龙果溃疡菌的抑制率高达 92.9%, 盆栽试验防效可达到 59.07%~70.11%. 综上所述, 木霉菌 KN-28 防治火龙果溃疡病的潜力巨大, 有望作为火龙果的生防目的菌株.

关键词: 木霉菌; 火龙果; 溃疡菌; 拮抗作用

中图分类号: S436.63

文献标志码: A

文章编号: 2097-1354(2022)02-0039-08

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Antagonistic Effects of Different *Trichoderma* Species on Pitaya Canker

CHEN Huanzhu¹, TANG Yingzhi¹, HUANG Jianxiang²,
PENG Shouhong¹, SU Ming¹, YUAN Shuiqing¹

1. Hainan North Latitude 180 Fresh Fruit Co., Ltd., Dongfang Hainan 572600, China;

2. Hainan Maple Love Agriculture Co., Ltd., Dongfang Hainan 572600, China

Abstract: Pitaya canker is an important disease to pitaya. In order to effectively carry out biological control of pitaya canker, the mycelial growth rate and spore yield of 17 *Trichoderma* species were accessed and their inhibitory effects on pitaya canker were compared by confrontation inhibition test and pot test. *Trichoderma* KN-28 had the highest antibacterial effect and the inhibition rate of its sterile fermentation broth to pitaya canker was as high as 92.9%. Pot experiment showed that the control effect of *Trichoderma* KN-28 could reach 59.07% to 70.11%. In conclusion, *Trichoderma* KN-28 has a great potential to control pitaya canker, and is expected to be the target strain for biological control of pitaya canker.

Key words: *Trichoderma*; pitaya; *Ulcerative bacteria*; Antagonism

收稿日期: 2021-12-05

作者简介: 陈焕柱, 助理农艺师, 主要从事热带作物栽培工作.

火龙果(*Hylocereus undatus*)是一种具有较高经济价值和营养价值的热带、亚热带果树。由于火龙果种植集中,品种单一,再加上各种病原微生物逐年累积,致使火龙果病害发生严重,最终导致产量和品质急剧下降。目前,火龙果病虫害的防控主要采取化学防治、抗病育种、农业防治和生物防治等方法;其中,化学防治为主要防治措施^[1],但由于化学防治会对人类健康和生态环境造成危害和破坏,长期使用容易使病原菌产生抗药性^[2],因此,寻求安全有效且环境友好的病害防治手段将有助于火龙果产业的绿色健康发展。抗病品种的选育进展缓慢,且在火龙果种质资源中未发现高抗品种^[3]。农业防治虽可以辅助防病,但不能从根本上控制病害发生^[4]。生物防控可作为解决土传病害的有效途径^[5],其中木霉菌属(*Trichoderma*)真菌作为一种能有效防治植物病害的有益真菌,在农业生产实践中效果显著,越来越受到人们的关注^[6-8]。

火龙果溃疡病是真菌性病害,病原菌是新暗色柱节孢(*Neoscytalidium dimidiatum*),是火龙果主要病菌之一,侵染枝条时可降低光合作用而减产,为害果实时可直接降低果实的商品性^[9]。溃疡病的为害症状是感病初期病茎和果实小范围褪色形成直径圆形凹陷斑点,逐渐形成典型的火山口状红褐色或黑色突起,后期病斑突起形成火山口状溃疡斑,同时感病组织内部腐烂,造成茎段腐烂和果实开裂。夏秋季高温高湿的气候条件发病尤为严重,并且该病可依靠带病种苗和孢子传播,在海南地区危害非常严重,是目前火龙果种植过程中亟需解决的病害防治难题^[10-11]。木霉菌(*Trichoderma*)属于真菌门、担子菌亚门、丝孢纲、丝孢目、丛梗孢科,其有性阶段为子囊菌亚门、肉座目、肉座科的肉座菌属。大量研究表明,多数木霉菌可产生生物活性物质,并对植物病原真菌、植物病原线虫等具有拮抗作用。生物活性物质包括次级代谢产物和细胞壁降解酶类等物质,可以有效提高农作物的抗逆性,减少植物病害并促进植物生长^[12-13]。目前对于防治火龙果溃疡菌的报道很少,同时木霉菌种类很多,不同种之间以及同种的不同菌株之间对病菌的抑制作用存在明显差异。有研究表明,木霉菌对灰葡萄孢菌(*Botrytis cinerea*)、尖孢镰刀菌(*Fusarium oxysporum*)、变灰尾孢菌(*Cercospora canescens*)、假尾孢菌属(*Pseudocercospora*)、立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)、炭疽菌(*Colletotrichum* spp.)、终极腐霉菌(*Pythium ultimum*)等有生防作用,但不同的木霉菌对不同作物及不同病害的防治效果有差异^[14]。已有报道表明,木霉菌对猕猴桃溃疡病有很好的防治效果,且灌根施用木霉菌能明显降低海棠枝干溃疡病的发病程度^[15-16]。因此,筛选对火龙果溃疡菌有较强抑制作用的木霉菌株,将对火龙果的生物防控具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 供试菌株

病原菌菌株:火龙果溃疡病菌(*Neoscytalidium dimidiatum*)由海南北纬十八度果业有限公司先端基地检测室提供。

木霉菌供试菌株共 17 株,分别为棘孢木霉(*Trichoderma asperellum*)、黑绿木霉(*T. atroviride*)、交织木霉、钩状木霉、哈茨木霉 1、哈茨木霉 22、绿色木霉(*T. viride*)1、绿色木霉 2、绿色木霉 3、长枝木霉 1、长枝木霉 2、长枝木霉 38、长枝木霉 115、木霉菌 KN1、木霉菌 KN19、木霉菌 KN20、木霉菌 KN28;均由海南大学热带作物学院提供,PDA 培养基由上海碧云天生物技术有限公司提供。

1.2 试验方法

1.2.1 不同木霉菌菌丝生长速度的测定

在80 mm的培养皿底部的背面画上“十”字,将在PDA平板上活化培养3 d的17株木霉菌菌碟(φ 6 mm)接种在PDA培养基上,每个处理4次重复,28℃恒温培养48 h后用十字交叉法测量菌落的直径.

1.2.2 不同木霉菌产孢量的测定

将直径为6 mm的木霉菌碟接种在PDA培养基上培养5 d后加入10 mL无菌水反复冲洗,将洗下的孢子悬浮液置于试管中依次稀释,用血球计数板于显微镜下观察进行孢子计数,每个处理4次重复.

1.2.3 不同木霉菌与溃疡菌空间竞争能力测定

采用对峙培养法,在80 mm的PDA平板两端,取直线距离为50 mm的上下两点,分别接种培养3 d的溃疡菌和木霉菌菌碟,以只接溃疡菌放置于培养皿上点作对照,于28℃下恒温对峙培养,每个处理4次重复,待木霉菌与溃疡菌接触后计算木霉菌对溃疡菌菌丝生长抑制率(%).

$$\text{对峙抑制率}(\%) = (\text{对照菌落半径} - \text{处理菌落半径}) / \text{对照菌落半径} \times 100\%$$

培养7 d后,采用拮抗指数评价竞争作用强弱.

拮抗指数分级标准为:

- I级,木霉菌丝占据平皿100%;
- II级,木霉菌丝占据平皿 $>2/3$;
- III级,木霉菌丝占据平皿 $>1/3, <2/3$;
- IV级,木霉菌丝占据平皿 $<1/3$;
- V级,病原菌占据平皿100%.

1.2.4 不同木霉菌固体培养挥发性代谢物对病菌的抑制作用

1) 木霉菌易挥发代谢物对溃疡菌的拮抗作用

采用对扣培养法测定.将木霉菌接种在PDA培养基上28℃恒温培养2 d,并用无菌的双层赛璐玢膜盖在其上方,接着用刚接过溃疡菌的培养基倒扣在赛璐玢膜上,用封口膜进行密封.把病原菌倒扣于未接种过木霉菌的PDA上作为对照,每个处理4次重复.28℃恒温培养48 h,测量溃疡菌菌落直径,并计算木霉菌挥发代谢物对溃疡菌的抑制效果^[17].

$$\text{菌丝生长抑制率}(\%) = (\text{对照菌落直径} - \text{处理菌落直径}) / \text{对照菌落直径} \times 100\%$$

2) 木霉菌难挥发代谢物对溃疡菌的拮抗作用

采用圆盘滤膜法测定.将赛璐玢膜平铺在PDA平板上,其上接种木霉菌碟,28℃恒温培养2 d后移去赛璐玢膜,其后接种活化3 d的病原菌菌碟,以只接种溃疡菌菌碟作对照.每个处理4次重复,28℃恒温培养箱内培养.48 h后测量菌落直径,计算菌丝生长抑制率.计算方法同上.

1.2.5 不同木霉菌液体发酵滤液对溃疡菌的抑制作用

在100 mL PDA培养液中接入10个直径6 mm的木霉菌碟,28℃,150 r·min⁻¹恒温黑暗振荡培养7 d后,用直径0.22 μ m的无菌过滤器过滤除菌,获得无菌发酵滤液.分别将10 mL和30 mL的滤液与无菌PDA混合至100 mL,分别制成含有10%和30%发酵液PDA培养基.将溃疡菌菌碟接种于发酵液PDA培养基上,28℃恒温培养,以分别混合等量无菌水的PDA平板上接病原菌作对照,每个处理4次重复.接菌后72 h测定菌落直径并计算抑制率,计算方法同上.

1.2.6 木霉菌剂对火龙果溃疡病的盆栽防治作用

木霉菌剂制备：木霉菌 KN-28 的菌液与无菌发酵基质(麦麸)以 1 : 4(V/W)的比例均匀混合在无菌瓷盘上,于 28 ℃ 恒温培养箱中恒温培养 5~6 d,待木霉长满瓷盘后放置于室温下晾晒 2~3 d,晒干后于粉碎机中打碎制成木霉菌剂备用.盆栽试验共设置 5 个处理.①空白对照;②0.6%发酵基质:0.6 kg 发酵基质与 100.0 kg 薯块充分混拌;③0.6%木霉菌剂:0.6 kg 木霉菌剂与 100.0 kg 薯块充分混拌;④1.0%木霉菌剂:1.0 kg 木霉菌剂与 100.0 kg 薯块充分混拌;⑤1.0%复合菌剂:1.0 kg 复合菌剂(木霉菌剂:腐殖酸=3:2)与 100.0 kg 薯块充分混拌.溃疡菌液以 1.0%的施用量(V/W)均匀拌入盆栽土中,每盆种植 4 株火龙果,每个处理 15 个重复.种植 30 d 后调查溃疡病发生情况^[18].

火龙果溃疡病的分级标准采用 Weinhold 的方法,发病率、病情指数和防治效果按下式计算^[19]:

发病率/%=(发病株数/调查总株数)×100%

病情指数= \sum (发病株数×发病级别)/(调查总株数×5)×100;

防治效果(%)=(空白对照病情指数-处理病情指数)/空白对照病情指数×100%.

1.3 数据统计

数据整理使用 Excel(WPS 2012),数据分析使用 DPS 9.50 软件.

2 结果与分析

2.1 不同木霉菌菌丝生长速度与产孢能力

从试验结果看出,17 株供试木霉菌生长速率差异有统计学意义,其中长枝木霉 115 的菌丝生长速率最快,菌落直径为 76 mm.不同木霉菌株产孢量差异非常明显,其中棘孢木霉、绿色木霉 3、木霉菌 KN-28 和哈茨木霉 22 的产孢量较大,分别为 3.68×10^9 , 2.88×10^9 , 2.20×10^9 和 1.58×10^9 个/mL.同种木霉菌的不同菌株菌丝生长速率相近,但产孢量差异较大;如木霉菌 KN19 和木霉菌 KN20 培养 2 d 的菌落直径分别为 69 mm,67 mm,培养 5 d 的产孢量分别为 5.65×10^7 , 4.0×10^5 个/mL(表 1).

表 1 不同木霉菌菌丝生长速度与产孢能力

木霉菌菌株	培养 2 d 菌落直径/mm	培养 5 d 的产孢量(10^7 个·mL ⁻¹)
长枝木霉 115	76a	2.48f
交织木霉	73ab	0.30g
长枝木霉 2	72ab	0.35g
绿色木霉 2	71abc	0.27g
长枝木霉 38	70abc	0.42fg
木霉菌 KN19	69abc	5.65f
木霉菌 KN20	67bcd	0.04h
钩状木霉	66bcd	2.40f
木霉菌 KN-28	65cd	220.00c
棘孢木霉	63d	367.50a
木霉菌 KN1	61de	13.70ef
哈茨木霉 1	56ef	0.37f
哈茨木霉 22	56ef	157.50d
长枝木霉 1	55f	50.95e
绿色木霉 1	54f	17.75ef
绿色木霉 3	54f	287.50b
黑绿木霉	52f	5.73f

注:同列小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.2 不同木霉菌与溃疡菌空间竞争能力

平板对峙试验显示, 17 株木霉菌对溃疡菌均有明显抑制作用. 其中交织木霉、长枝木霉 2 和绿色木霉 2 对溃疡菌的抑制率最高, 均达到 74.0% 以上. 拮抗指数表明, 木霉菌 KN-28、哈茨木霉 22、木霉菌 KN19、长枝木霉 38、棘孢木霉的拮抗能力最强, 拮抗指数均为 I. 与对照的溃疡菌菌落相比, 随着木霉菌的生长, 溃疡菌菌丝生长速度开始变慢, 与木霉菌接触后菌落颜色变浅, 菌丝开始被消解变得稀疏, 说明木霉通过空间和营养竞争可以抑制溃疡菌生长(表 2).

表 2 不同木霉菌与溃疡菌空间竞争能力

不同处理	拮抗指数	抑制率/%
棘孢木霉	I	73.7abc
长枝木霉 38	I	73.7abc
木霉菌 KN19	I	72.6abcd
哈茨木霉 22	I	73.1abcd
木霉菌 KN-28	I	71.9bcd
交织木霉	II	76.1a
长枝木霉 2	II	74.9ab
绿色木霉 2	II	74.6ab
哈茨木霉 1	II	72.9abcd
长枝木霉 1	II	72.9abcd
黑绿木霉	II	72.2abcd
木霉菌 KN20	II	71.9bcd
木霉菌 KN1	II	70.5cd
绿色木霉 1	II	69.6d
绿色木霉 3	III	72.3abcd
钩状木霉	III	71.7bcd
长枝木霉 115	III	64.2e

注: 同列小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.3 固体培养不同木霉菌的代谢物对溃疡菌的抑制作用

对生长速率快、产孢量高及平板对峙抑制效果好的 8 株木霉菌进行单独试验. 根据表 3 可知, 不同木霉菌易挥发性代谢物对病原菌的抑制效果明显不同, 其中长枝木霉 115 产生的挥发性代谢物对病原菌的抑制率最高, 为 53.4%, 与长枝木霉 2(抑制率为 37.5%)差异有统计学意义, 其他木霉菌株对病原菌的抑制率差异无统计学意义. 8 株木霉菌产生的难挥发性代谢物对病原菌的抑制作用较强, 抑制率均高于 80%. 其中绿色木霉 2 与长枝木霉 38 菌株的抑菌率最高, 达到 100.0%, 其次为木霉菌 KN-28, 抑制率为 80.8%, 与其他木霉菌株差异有统计学意义.

表 3 固体培养不同木霉菌的代谢物对溃疡菌的抑制作用

不同处理	易挥发代谢物		难挥发代谢物	
	菌落直径/mm	抑制率/%	菌落直径/mm	抑制率/%
对照(空白)	88a		87a	
长枝木霉 115	41b	53.4a	13bc	85.1d
黑绿木霉	46b	47.7ab	16b	81.6e
木霉菌 KN19	47b	46.6ab	11bc	87.4c
棘孢木霉	48b	45.4ab	13bc	85.1d
长枝木霉 38	50ab	43.2ab	0e	100.0a
木霉菌 KN-28	51ab	42.0ab	8d	80.8b
绿色木霉 2	52ab	40.9ab	0e	100.0a
长枝木霉 2	55b	37.5b	16b	81.6e

注: 同列小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.4 不同木霉菌液体发酵滤液对溃疡菌的抑制作用

从试验结果看出, 不同木霉菌发酵滤液对溃疡菌均有抑制作用. PDA 平板含木霉菌发酵滤液浓度为 10% 时, 抑制率较低. PDA 平板含木霉菌发酵滤液浓度为 30% 时, 其代谢物对病原菌的生长产生明显的抑制作用, 供试的 8 株木霉菌对病原菌的抑制率为 64.3%~92.9%; 其中, 木霉菌 KN-28 对病原菌的抑制率高达 92.9%, 和其他 7 株木霉菌差异有统计学意义, 其次, 对病菌抑制效果较好的木霉菌株还有长枝木霉 38、长枝木霉 115 和木霉菌 KN19, 抑制率为 81.0%~88.1%(表 4).

表 4 不同木霉菌液体发酵滤液对溃疡菌的抑制作用

不同处理	水霉菌发酵滤液浓度为 40%		水霉菌发酵滤液浓度为 30%	
	菌落直径/mm	抑制率/%	菌落直径/mm	抑制率/%
对照(空白)	88a		84a	
木霉菌 KN-28	30c	65.9a	6f	92.9a
长枝木霉 115	57b	35.2b	15d	82.1c
棘孢木霉	65b	26.1c	22c	73.8e
长枝木霉 2	66b	25.0c	19c	77.4d
长枝木霉 38	70ab	20.5d	10e	88.1b
绿色木霉 2	74b	15.9e	30b	64.3f
木霉菌 KN19	79b	10.2f	16c	81.0c
黑绿木霉	86a	2.3g	18c	78.6d

注: 同列小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

2.5 木霉菌剂对火龙果的盆栽防治效果

木霉菌剂对火龙果的盆栽防治试验结果表明, 施加木霉菌剂的不同处理能在一定程度上控制火龙果溃疡病的发生. 0.6% 发酵基质的发病情况较空白对照差异不明显, 说明施入的基质量对病害发生的影响不大. 随着木霉菌剂剂量增加, 对火龙果的防效逐渐增强, 0.6% 木霉菌剂和 1.0% 木霉菌剂的防效分别为 59.07% 和 67.38%. 1.0% 复合菌剂防病效果最强, 防效为 70.11%,

显著高于单施木霉菌剂,说明木霉菌剂与腐植酸混合更能降低溃疡病的发生程度(表 5).

表 5 木霉菌剂对火龙果的盆栽防治效果

不同土壤处理	发病率/%	病情指数/%	防效/%
对照(空白)	96.17a	70.27a	
0.6%发酵基质	96.00a	67.50a	3.80d
0.6%木霉菌剂	54.50b	28.76b	59.07c
1.0%木霉菌剂	41.10c	22.92c	67.38b
1.0%复合菌剂	36.20d	21.00c	70.11a

注:同列小写字母不同表示差异有统计学意义($p < 0.05$).

3 结论与讨论

木霉菌可以通过竞争、重寄生和抗生作用抑制火龙果溃疡菌.不同木霉菌株在各种拮抗机制中对病菌表现拮抗作用强弱不完全一致.根据生长速度、产孢量及对病菌的拮抗作用综合分析,确定木霉菌 KN-28 对火龙果溃疡菌的拮抗作用最好,其菌剂盆栽防效为 59.07%~70.11%.本研究为开发木霉菌剂对火龙果溃疡病的防治奠定了基础.

木霉菌对丝核菌的拮抗机制存在多种形式,不同木霉菌种之间对病菌的抑制作用存在明显差异^[20-21].前人研究结果发现,同种木霉菌菌丝生长速率相近,但不同菌株之间产孢量却存在较大差异.本研究结果表明,17 株木霉菌对溃疡菌均有明显抑制作用,也有研究表明有些木霉菌对火龙果溃疡菌的抑制率达 68%^[14],交织木霉、长枝木霉 2 和绿色木霉 2 对溃疡菌的抑制率均达到 74.0%以上;木霉菌 KN-28、哈茨木霉 22、木霉菌 KN19、长枝木霉 38、棘孢木霉的拮抗能力最强,拮抗指数均为 1.不同木霉菌生长速率差异有统计学意义,其中长枝木霉 115 的菌丝生长速率最快,菌落直径达 76 mm.不同木霉菌株产孢量差异非常明显,其中棘孢木霉、绿色木霉 3、木霉菌 KN78 和哈茨木霉 22 的产孢量较大,分别为 3.68×10^9 , 2.88×10^9 , 2.20×10^9 和 1.58×10^9 个/mL.同种木霉菌的不同菌株菌丝生长速率相近,但产孢量差异较大;如木霉菌 KN19 和木霉菌 KN20,培养 2 d 的菌落直径分别为 69 mm,67 mm,培养 5 d 的产孢量分别为 5.65×10^7 , 4.0×10^5 个/mL.

溃疡菌菌丝生长速度随着木霉菌的生长而开始变慢,与木霉菌接触后菌落颜色变浅,菌丝开始被消解变得稀疏,表明木霉通过空间和营养竞争可以抑制溃疡菌生长.木霉菌对溃疡菌重寄生下的显微观察发现,所有的木霉菌菌丝都能盘旋环绕在溃疡菌菌丝上,并在病原菌菌丝上产生小的分支菌丝再次进行缠绕,推测这些细小分支可能侵入病原菌菌丝内部,从而导致病原菌菌丝的变形、断裂,至其最终解体死亡.17 株木霉菌对溃疡菌均有明显的抑制作用,其中哈茨木霉 22、木霉菌 KN-28、长枝木霉 38、棘孢木霉、木霉菌 KN19 与溃疡菌的对峙试验中表现出较强的空间竞争能力与营养夺取力,既抑制溃疡菌在同一条件下的生长速率,又进一步在溃疡菌菌落上增加了木霉菌菌落面积,导致病原菌菌落缓慢消失.

通过固体平板培养,8 株木霉菌产生的易挥发代谢物对病原菌的抑制率较低,而木霉菌产生的难挥发代谢物对病菌有较强抑制作用,说明木霉菌对病菌的抗生物质主要是一些难挥发代谢物质.同种木霉菌易挥发性代谢物对病原菌的抑制效果明显不同,其中长枝木霉 115 产生的挥发性代谢物对病原菌的抑制率最高,为 53.4%,高于长枝木霉 2(抑制率为 37.5%);其他木霉菌株对病原菌的抑制率差异不明显.8 株木霉菌产生的难挥发性代谢物对病原菌的抑制作

用较强,抑制率均高于80%;其中绿色木霉2与长枝木霉38菌株的抑菌率高达100.0%,木霉菌KN-28,其抑制率为80.8%,与其他木霉菌株差异有统计学意义。

用木霉菌液体发酵滤液进行拮抗作用试验,结果表明8株木霉菌对溃疡菌均有较强的抑制作用,抑制效果随着浓度增加而增强,进一步证明了拮抗作用是木霉菌对病原菌的重要抑制作用之一。其中对溃疡菌菌丝的抑制效果最好的是木霉菌KN-28的发酵滤液,抑制率高达92.9%;其次对病菌抑制效果较好的菌株是长枝木霉38、长枝木霉115和木霉菌KN19,抑制率为81.0%~88.1%。

盆栽试验结果证明,木霉菌KN-28能有效防治火龙果溃疡病,其中,复合木霉菌剂较单施木霉菌剂防病效果好,可能腐植酸能激发其生防潜能或提高植株的抗病性,其机理有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 许哲,杨丹娇,李修辉,等. 火龙果溃疡病防治药剂的筛选[J]. 植物医生, 2021, 34(1): 72-75.
- [2] 鲁海菊,沈云玫,陶宏征,等. 内生木霉P3.9菌株的多功能性及其枇杷根腐病的盆栽防效[J]. 西北农业学报, 2017, 26(11): 1681-1688.
- [3] 李润唐,王静,刘虹源,等. 4个火龙果品种对溃疡病的抗性研究[J]. 中国热带农业, 2017(2): 70-73.
- [4] 王秉丽,李广纪,郭玉人,等. 不同野生木霉菌拮抗作用的比较[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(1): 147-151.
- [5] 张振华,林江,王文雅,等. 火龙果溃疡病原菌拮抗菌株的筛选与生物防治效果初探[J]. 河南农业科学, 2019, 48(8): 88-94.
- [6] 孙虎,杨丽荣,全鑫,等. 木霉生防机制及应用的研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 242-246.
- [7] 赛牙热木·哈力甫,邓勋,宋小双,等. 木霉菌生物防治及促进植物生长机制研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(3): 237-247.
- [8] 林成伟,刘金龙. 木霉菌株对几种病原真菌的生物防治作用研究[J]. 植物医生, 2021, 34(2): 29-33.
- [9] 赵晓珍,柏自琴,王荔,等. 贵州火龙果溃疡病原菌鉴定及生物学特性[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(2): 58-64.
- [10] 彭超,范鸿雁,罗志文,等. 海南火龙果产区真菌病害种类及为害情况调查[J]. 中国南方果树, 2015, 44(6): 121-124.
- [11] 张荣,刘媛媛,白成艳,等. 火龙果溃疡病的症状观察和病原菌鉴定[J]. 果树学报, 2013, 30(5): 854-856, 906.
- [12] 阮盈盈,刘峰. 木霉菌生物防治作用机制与应用研究进展[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(11): 2290-2294.
- [13] 袁扬,王胤晨,韩玉竹,等. 木霉菌在农业中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(3): 10-14.
- [14] 陈迪,侯巨梅,邢梦玉,等. 7株木霉菌对火龙果3种病原菌的拮抗作用[J]. 热带作物学报, 2020, 41(12): 2501-2506.
- [15] 张兆霞,郭慧玲,陈岩,等. 泰山海棠枝干溃疡病综合治理防治研究[J]. 山东林业科技, 2019, 49(6): 65-67.
- [16] 谢俊,阿吉拉·阿拉亚·马尔塞格·埃斯特班,金锡萱,等. 木霉菌油悬浮剂的研制[J]. 农药, 2017, 56(1): 18-22.
- [17] 陈毓荃. 生物化学实验方法和技术[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [18] 夏海波,潘好芹,李艳青. 拮抗蔬菜土传病害木霉菌株的筛选及鉴定[J]. 北方园艺, 2017(6): 127-130.
- [19] 张健,马佳慧,韩蓓蓓,等. 对桑椹菌核病原菌有拮抗作用的木霉菌菌株筛选及生防效果试验[J]. 蚕业科学, 2015, 41(5): 825-832.
- [20] RALPH BERGER L, REYNOLD D M. The Chitinase System of a Strain of *Streptomyces griseus*[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1958, 29(3): 522-534.
- [21] JIANG H, ZHANG L, ZHANG J Z, et al. Antagonistic Interaction between *Trichoderma asperellum* and *Phytophthora capsici* in Vitro[J]. Journal of Zhejiang University-SCIENCE B, 2016, 17(4): 271-281.