

鲁海菊,董文彦,沈云玫,等. 抗扑海因内生木霉菌株 PJ3 与原始菌株 J3 的生物学特性差异[J]. 江苏农业科学,2018,46(22):89-92.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.22.019

# 抗扑海因内生木霉菌株 PJ3 与原始菌株 J3 的生物学特性差异

鲁海菊,董文彦,沈云玫,洪亮,李琦

(红河学院生命科学与技术学院,云南蒙自 661199)

**摘要:**为明晰抗扑海因内生木霉菌株 PJ3 与原始菌株 J3 的生物学特性差异,测定不同培养基、碳源、氮源、pH 值、温度和光照对木霉菌株 PJ3、J3 菌丝生长及产孢的影响。结果表明,2 个菌株最大的差异在于产孢性状不同,在不同碳源、氮源培养基中,原始菌株 J3 产孢能力整体上略强于抗扑海因菌株 PJ3;在其他检测条件下,抗扑海因菌株 PJ3 产孢能力整体强于原始菌株 J3;菌株 PJ3 菌丝生长的适合条件为马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)、胡萝卜葡萄糖琼脂(CDA)或香蕉葡萄糖琼脂(BDA)培养基,碳源为可溶性淀粉、 $\alpha$ -乳糖、麦芽糖或葡萄糖,氮源为牛肉膏、酵母膏、蛋白胨、硝酸铵、硫酸铵、磷酸二氢铵或甘氨酸,pH 值为 3~10,温度为 15~30℃,光照条件为光暗交替、全黑暗或全光照;其产孢的最佳条件为 BDA 培养基、碳源为 D-果糖、氮源为酵母膏、pH 值为 10、温度为 28℃、光照条件为光暗交替。此结论能为抗扑海因内生木霉 PJ3 菌株发酵生产提供理论参数。

**关键词:**产孢性状;抗扑海因内生木霉;生物学特性

**中图分类号:**S476 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)22-0089-04

木霉是重要的内生真菌,广泛分布于芦荟<sup>[1]</sup>、芦竹<sup>[2]</sup>、银杏<sup>[3]</sup>、红豆杉<sup>[4]</sup>、板蓝根<sup>[5]</sup>、枸骨<sup>[6]</sup>、滇牡丹<sup>[7]</sup>、香榧<sup>[8]</sup>等药用植物中,能定殖于植物的根<sup>[5,9-10]</sup>、茎(树皮)<sup>[4,11]</sup>、叶<sup>[12]</sup>,能抑制细菌<sup>[13]</sup>、真菌<sup>[14]</sup>及线虫<sup>[15]</sup>生长,对植物有防病促生作用<sup>[16-19]</sup>。因此,利用内生木霉控制植物病害已成为研究热点之一。有学者尝试用香蕉内生木霉防治香蕉枯萎病<sup>[20]</sup>,茶树内生木霉防治茶花褐斑病<sup>[21]</sup>,杨树内生木霉防治杨树溃疡

病<sup>[22]</sup>,枇杷内生木霉防治枇杷根腐病,均已取得阶段性成果。木霉菌剂施入土壤,对植物根际土壤真菌群落影响较小<sup>[23-24]</sup>。木霉在土壤中定殖是其防病促生的前提条件,然而,它在土壤中的定殖能力,通常会受到土壤农药残留因素的限制。因此,筛选抗化学农药的木霉菌株尤为重要。鉴于此,本研究从具有抗枇杷根腐病菌活性的枇杷内生木霉中,筛选到 1 株抗扑海因的菌株 PJ3,其原始菌株 J3 对枇杷根腐病、万寿菊叶斑病、石榴枯萎病和石榴干腐病等病原菌均具有极强的抑菌作用。经测定菌株 PJ3 的抑菌活性未衰退,为明晰此菌株的其他性状是否衰退,有必要明确其与原始菌株 J3 的生物学特性差异。本研究测定不同培养基、碳源、氮源、pH 值、温度和光照对菌株 PJ3、J3 菌丝生长及其产孢的影响,为其工业发酵提供理论依据。

收稿日期:2017-07-04

基金项目:国家自然科学基金(编号:31660147);红河学院应用型科学研究重点项目(编号:XJY15Z06);云南省应用基础研究计划(编号:2016FB066)。

作者简介:鲁海菊(1978—),女,云南大理人,博士,教授,主要从事植物病理学研究。E-mail:luhaiju2011@126.com。

[21] Chen B Y, Xu K, Li J, et al. Evaluation of yield and agronomic traits and their genetic variation in 488 global collections of *Brassica napus* L. [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2014, 61(5): 979-999.

[22] 伍晓明,陈碧云,陆光远,等. 油菜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京:中国农业出版社,2007.

[23] Wiedemann S C, Hansen W G, Snieder M, et al. NIR calibration in practice[J]. Analisis, 1998, 26(4): 38-42.

[24] 盖钧镒. 试验统计方法[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[25] SPSS Inc. SPSS base 16.0 user's guide [M]. Chicago: SPSS Inc, 2007.

[26] Fisher R A. The distribution of the partial correlation coefficient [J]. Metron, 1924, 3(3): 329-332.

[27] Williams W A, Jones M B, Demment W. A concise table for path analysis statistics [J]. Agronomy Journal, 1990, 82(5): 1022-

1024.

[28] Lynch M, Walsh B. Genetics and analysis of quantitative traits [M]. Sunderland, MA, USA: Sinauer Associates Inc, 1998: 980.

[29] 王汉中. 中国油料产业发展的现状、问题与对策 [J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(4): 100-105.

[30] Leach J E, Stevenson H J, Rainbow A J, et al. Effects of high plant populations on the growth and yield of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. The Journal of Agricultural Science, 1999, 132(2): 173-180.

[31] Ma N, Yuan J Z, Li M, et al. Ideotype population exploration: growth, photosynthesis, and yield components at different planting densities in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. PLoS One, 2014, 9(12): 1-15.

[32] 左青松, 蒯婕, 杨士芬, 等. 不同氮肥和密度对直播油菜冠层结构及群体特征的影响 [J]. 作物学报, 2015, 41(5): 758-765.

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

1.1.1 供试菌株 木霉菌株 J3, 采用常规组织分离法<sup>[24]</sup>从枇杷主干韧皮部中分离纯化获得, PJ3 是在含扑海因药剂(100 mg/L)的马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基中生长的 J3 抗药性菌株。将菌株置于斜面培养基低温(4 ℃)保存, 现保存于云南省红河学院生命科学与技术学院植物病理教学实验室。

1.1.2 供试培养基 PDA 培养基: 20% 马铃薯浸汁, 2% 葡萄糖, 琼脂 18 g, 水 1 000 mL; 胡萝卜葡萄糖琼脂(CDA)培养基: 20% 胡萝卜浸汁, 2% 葡萄糖, 琼脂 18 g, 水 1 000 mL; 香蕉葡萄糖琼脂(BDA)培养基: 20% 香蕉浸汁, 2% 葡萄糖, 琼脂 18 g, 水 1 000 mL; 查氏(CM)培养基: 蔗糖 30.00 g、NaNO<sub>3</sub> 2.00 g、K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 1.00 g、KCl 0.50 g、MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 0.50 g、水 1 000 mL。

1.1.3 试剂 碳源: 可溶性淀粉、α-乳糖、麦芽糖、葡萄糖、D-果糖、蔗糖、鼠李糖、甜醇、D-甘露醇; 氮源: 硫酸铵、硝酸铵、磷酸二氢铵、酵母膏、牛肉膏、蛋白胨、甘氨酸、尿素; 盐酸、氢氧化钠和扑海因。

上述材料均购自农贸市场及试剂公司, 试剂均为分析纯。

### 1.2 方 法

1.2.1 不同培养基对菌丝生长及其产孢的影响 将菌株 J3、PJ3 接种到已灭菌的 PDA 培养基中央, 28 ℃ 扩大培养 7 d。在培养基同一半径周围用打孔器, 取直径为 5 mm 的菌块, 同时接种于 PDA、CDA、BDA、CM 4 种培养基平板中央, 3 次重复, 在 28 ℃ 下恒温培养 7 d, 采用十字交叉法测定菌落直径, 采用血球计数板计数产孢量。

1.2.2 不同碳源、氮源对菌丝生长及其产孢的影响 以 CM 培养基为基础培养基, 分别用相等质量分数的碳(可溶性淀粉、α-乳糖、麦芽糖、葡萄糖、D-果糖、蔗糖、鼠李糖、甜醇、D-甘露醇)和氮(硫酸铵、硝酸铵、磷酸二氢铵、酵母膏、牛肉膏、蛋白胨、甘氨酸、尿素)替换蔗糖和硝酸钠, 以不加碳、氮为对照。每个处理 3 次重复, 接种及测量方法同“1.2.1”节。

1.2.3 不同 pH 值对菌丝生长及其产孢的影响 以 PDA 为供试培养基, 分别用 0.1% 盐酸及 0.1% 氢氧化钠溶液将 pH 值调至 3、4、5、6、7、8、9、10 之后倒平板, 每个处理重复 3 次。接种及测量方法同“1.2.1”节。

1.2.4 不同温度对菌丝生长及其产孢的影响 以 PDA 为供试培养基, 接种后分别在 10、15、20、25、28、30、35、40 ℃ 下恒温培养, 每个处理重复 3 次, 接种及测量方法同“1.2.1”节。

1.2.5 光照对菌丝生长及其产孢的影响 以 PDA 为供试培养基, 接种后分别在光暗交替(12 h 光照 12 h 黑暗)、全黑暗和全光照 3 种光处理下培养, 每个处理重复 3 次。接种及测量方法同“1.2.1”节。

以上所有配制好的培养基用高压蒸汽灭菌锅在 121 ℃ 条件下灭菌 25 min。

1.2.6 数据统计 所有试验数据均采用 SPSS 19.0 统计软件 Duncan's 多重比较法进行统计分析, 计算处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同培养基对参试菌株菌丝生长及产孢的影响

由表 1 可知, 参试菌株在供试的 4 种培养基中均能生长, 在 PDA、CDA 和 BDA 3 种培养基中参试菌株菌落直径差异不显著, CM 培养基中参试菌株菌落直径与其余 3 种培养基差异极显著, 菌落直径最小。原始菌株 J3 在 4 种培养基中均能产孢, 但在 4 种培养基中的产孢量差异极显著, 其中在 CDA 培养基中产孢量最大, 为  $2.59 \times 10^8$  个/mL, CM 培养基中产孢量最小, 为  $0.12 \times 10^8$  个/mL, 相差近 200 倍。抗扑海因菌株 PJ3 在 4 种培养基中的产孢量差异极显著, 其中在 BDA 培养基中产孢量最大, 为  $2.70 \times 10^8$  个/mL, CM 培养基中产孢量最小, 为  $0.19 \times 10^8$  个/mL。说明抗扑海因菌株 PJ3 与原始菌株 J3 相比, 在产孢能力方面, 对营养要求有所改变, CDA 培养基最适合原始菌株 J3 产孢, BDA 培养基最适合抗扑海因菌株 PJ3 产孢, 在 PDA 培养基中, 抗扑海因菌株 PJ3 比原始菌株 J3 产孢能力增强近 1 倍。

表 1 不同培养基对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

培养基	菌落直径(mm)		产孢量( $\times 10^8$ 个/mL)	
	J3	PJ3	J3	PJ3
PDA	88.0aA	88.0aA	1.34bB	2.64bB
CM	52.5bB	79.0bB	0.12dD	0.19dD
CDA	88.0aA	88.0aA	2.59aA	2.25cC
BDA	88.0aA	88.0aA	0.40cC	2.70aA

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著; 不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。下表同。

### 2.2 不同碳源对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

由表 2 可知, 原始菌株 J3 在供试的 9 种碳源培养基中菌落直径均大于对照, 且均与对照差异极显著。其中, 以 D-果糖为碳源时菌落直径最大, 为 88.0 mm, 以甜醇为碳源时菌落直径最小, 为 45.0 mm; 抗药菌株 PJ3 在可溶性淀粉、α-乳糖、麦芽糖和葡萄糖 4 种碳源培养基及甜醇和鼠李糖 2 种碳源培养基中, 两两菌落直径差异不显著, 与其余碳源培养基差异极显著, 其中在可溶性淀粉、α-乳糖、麦芽糖和葡萄糖 4 种碳源培养基中菌落直径最大, 为 88.0 mm, 在以蔗糖为碳源的培养基中菌落直径最小, 为 79.0 mm。原始菌株 J3 的产孢量在以蔗糖和 D-甘露醇为碳源的培养基中差异不显著, 其余碳源培养基之间差异极显著, 其中, 以 D-果糖为碳源时产孢量最大, 为  $6.50 \times 10^7$  个/mL, 以可溶性淀粉为碳源时产孢量最小, 为  $0.98 \times 10^7$  个/mL; 抗药菌株 PJ3 在 9 种碳源中产孢量均差异极显著, 其中在以 D-果糖为碳源对产孢量最大, 为  $3.65 \times 10^7$  个/mL, 以甜醇为碳源时产孢量最少, 为  $0.11 \times 10^7$  个/mL。整体而言, 抗扑海因菌株 PJ3 与原始菌株 J3 相比在不同碳源培养基中的菌丝生长能力增强, 产孢能力略有下降。

### 2.3 不同氮源对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

由表 3 可知, 参试菌株在供试的 8 种氮源培养基中, 菌落直径与对照均差异极显著。其中, 原始菌株 J3 在以酵母膏为氮源时菌落直径最大, 为 88.0 mm, 在以尿素为氮源时菌落直径最小, 为 18.8 mm。抗扑海因菌株 PJ3 菌落直径在除尿素和无氮对照外的其余 7 种氮源培养基中, 菌落直径差异不显

表2 不同碳源对参试菌株菌丝生长及产孢的影响

碳源	菌落直径(mm)		产孢量( $\times 10^7$ 个/mL)	
	J3	PJ3	J3	PJ3
可溶性淀粉	76.2eE	88.0aA	0.98hH	0.15iI
$\alpha$ -乳糖	77.8dD	88.0aA	2.96bB	1.36dD
麦芽糖	85.5cC	88.0aA	1.53fF	0.41hH
葡萄糖	87.3bB	88.0aA	1.88eE	2.10bB
D-果糖	88.0aA	84.3cC	6.50aA	3.65aA
蔗糖	52.5hH	79.0eE	1.21gG	1.88cC
甜醇	45.0iI	79.7dD	2.10dD	0.11jJ
鼠李糖	65.6fF	79.8dD	2.40cC	1.33eE
D-甘露醇	63.3gG	85.0bB	1.21gG	0.86gG
对照(无碳源)	39.8jJ	58.5fF	0.90iI	1.01fF

表3 不同氮源对参试菌株菌丝生长及产孢的影响

氮源	菌落直径(mm)		产孢量( $\times 10^8$ 个/mL)	
	J3	PJ3	J3	PJ3
牛肉膏	74.3cC	88.0aA	0.44fF	0.34gG
酵母膏	88.0aA	88.0aA	3.00aA	2.63aA
蛋白胨	75.2bB	88.0aA	1.05dD	1.01eE
硝酸铵	50.3hH	88.0aA	0.40gG	2.00bB
硫酸铵	61.2fF	88.0aA	1.30cC	0.81fF
磷酸二氢铵	67.2eE	88.0aA	0.48eE	1.73cC
甘氨酸	73.8dD	88.0aA	2.16bB	1.35dD
尿素	18.8iI	22.0cC	0.02iI	0.01hH
对照(无氮源)	57.0gG	76.5bB	0.13hH	0.01hH

著,其中在牛肉膏、酵母膏、蛋白胨、硝酸铵、硫酸铵、磷酸二氢铵和甘氨酸7种氮源培养基中,菌落直径最大,均为88.0 mm,在以尿素为氮源的培养基中菌落直径最小,为22.0 mm。原始菌株J3和抗扑海因菌株PJ3在8种氮源培养基中均能产孢,其中在以酵母膏为氮源的培养基中产孢量最大,分别为 $3.00 \times 10^8$ 、 $2.63 \times 10^8$ 个/mL,在以尿素为氮源的培养基中产孢量最小,分别为 $0.02 \times 10^8$ 、 $0.01 \times 10^8$ 个/mL。说明酵母膏为最适合J3、PJ3菌株生长及产孢的氮源。

#### 2.4 不同pH值对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

由表4可知,原始菌株J3在pH值为3~9的培养基中均能生长并产孢,且菌落直径及产孢量间差异极显著。其中pH值为8时,菌落直径及产孢量均最大,分别为88.0 mm、 $8.88 \times 10^8$ 个/mL。pH值为10时不能生长及产孢。抗扑海因菌株PJ3在培养基pH值为3~10时,菌落直径差异不显著,均为88.0 mm。在8个pH值梯度培养基中均能产孢,且产孢量间差异极显著,其中pH值为10时产孢量最大,为 $19.38 \times 10^8$ 个/mL,pH值为7时产孢量最小,为 $4.00 \times 10^8$ 个/mL。说明抗扑海因菌株PJ3的生长及产孢性能对pH值适应性更强。

#### 2.5 不同温度对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

由表5可知,参试菌株在15~30℃范围内菌丝均能生长,且菌落直径差异不显著,均为88.0 mm。原始菌株J3在25~30℃范围内能产孢,且产孢量之间差异极显著,其中28℃时产孢量最大,为 $25.75 \times 10^7$ 个/mL,30℃时产孢量最小,为 $0.35 \times 10^7$ 个/mL,其余温度均不能产孢。抗扑海因菌株PJ3在20~30℃范围内均能产孢,且产孢量之间差异极显

表4 pH值对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

pH值	菌落直径(mm)		产孢量( $\times 10^8$ 个/mL)	
	J3	PJ3	J3	PJ3
10	0.00hH	88.0aA	0.00hH	19.38aA
9	81.0gG	88.0aA	2.88dD	17.25bB
8	88.0aA	88.0aA	8.88aA	5.00gG
7	87.3cC	88.0aA	2.75eE	4.00hH
6	87.5bB	88.0aA	6.00bB	10.00eE
5	83.7dD	88.0aA	3.88cC	7.09fF
4	83.3eE	88.0aA	2.00fF	12.50dD
3	81.3fF	88.0aA	0.38gG	14.38cC

表5 温度对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

温度(℃)	菌落直径(mm)		产孢量( $\times 10^7$ 个/mL)	
	J3	PJ3	J3	PJ3
40	0.0bB	0.0bB	0.00dD	0.00eE
35	0.0bB	0.0bB	0.00dD	0.00eE
30	88.0aA	88.0aA	0.35cC	16.25cC
28	88.0aA	88.0aA	25.75aA	62.50aA
25	88.0aA	88.0aA	1.34bB	47.5bB
20	88.0aA	88.0aA	0.00dD	0.85dD
15	88.0aA	88.0aA	0.00dD	0.00eE

著,其中28℃时产孢量最大,为 $62.50 \times 10^7$ 个/mL,20℃时产孢量最小,为 $0.85 \times 10^7$ 个/mL,其余温度均不能产孢。抗扑海因菌株PJ3与原始菌株J3相比,产孢量明显增强。

#### 2.6 不同光处理对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

由表6可知,在光暗交替(12 h光照12 h黑暗)、全黑暗和全光照3种光处理下,参试菌株菌落直径差异不显著,均为88.0 mm。菌株PJ3在全黑暗处理时不产孢,其余2种处理均能产孢,且产孢量差异极显著,其中光暗交替处理产孢量最大,为 $4.75 \times 10^8$ 个/mL。原始菌株J3在3种光处理下,均能产孢,且产孢量间差异极显著,其中光暗交替处理产孢量最大,为 $2.56 \times 10^8$ 个/mL,全黑暗处理产孢量最小,为 $0.13 \times 10^8$ 个/mL。另外,在光暗交替下,抗扑海因菌株PJ3比原始菌株J3产孢量增强近1倍。

表6 光对参试菌株菌丝生长及产孢量的影响

光处理	菌落直径(mm)		产孢量( $\times 10^8$ 个/mL)	
	J3	PJ3	J3	PJ3
光暗交替	88.0aA	88.0aA	2.56aA	4.75aA
全黑暗	88.0aA	88.0aA	0.13cC	0.00cC
全光照	88.0aA	88.0aA	2.36bB	3.35bB

### 3 结论与讨论

本研究筛选获得抗扑海因的枇杷内生木霉菌株PJ3,其菌丝生长的适合条件为PDA、CDA或BDA培养基,适合碳源为可溶性淀粉、 $\alpha$ -乳糖、麦芽糖或葡萄糖,适合氮源为牛肉膏、酵母膏、蛋白胨、硝酸铵、硫酸铵、磷酸二氢铵或甘氨酸,适宜pH值为3~10,温度为15~30℃,光照条件为光暗交替、全黑暗或全光照。原始菌株J3菌丝生长适合条件为PDA、CDA或BDA培养基,适合碳源为D-果糖,适合氮源为酵母膏,最适pH值为8,适合温度为15~30℃,适合的光照条件为光暗交替、全黑暗或全光照。前者产孢最佳条件为BDA培

培养基、碳源为 D-果糖、氮源为酵母膏、pH 值为 10、温度 28 ℃、光照条件为光暗交替;后者为 CDA 培养基、碳源为 D-果糖、氮源为酵母膏,pH 值为 8,温度 28 ℃、光照条件为光暗交替。由此可见,抗扑海因内生木霉菌株 PJ3 菌丝生长适应性比原始菌株 J3 范围广。二者适应的培养基和 pH 值不同,菌株 PJ3 为 BDA 培养基和 pH 值为 10,菌株 J3 为 CDA 培养基和 pH 值为 8,其余参数均相同。产孢数量方面,除了不同碳、氮源之外,在其余参数中,抗扑海因菌株 PJ3 整体强于原始菌株 J3。段银芝等研究发现,吡虫啉、咪唑乙烟酸和咪唑烟酸 3 种农药能促进哈茨木霉菌丝生长及产孢<sup>[25]</sup>。前人曾筛选获得耐多菌灵<sup>[26]</sup>、速克灵<sup>[27-28]</sup>,能降解敌敌畏<sup>[29]</sup>、毒死蜱和甲胺磷<sup>[30]</sup>等的木霉菌株,但尚未见抗药性菌株其他生物学特性是否衰退的报道。本研究表明,与原始菌株 J3 相比,抗扑海因枇杷内生木霉菌株 PJ3 产孢能力增强,且其他生物学特性未衰退。田连生等报道,木霉菌剂与多菌灵混配防治灰霉病有协同增效作用<sup>[31]</sup>。任凤山等发现,木霉与几种杀菌剂混配能增强对苹果轮纹病的防治效果<sup>[32]</sup>。此抗药性菌株 PJ3 可与扑海因混配使用,可以减少化学农药用量,保护农业生态环境,具有广阔的开发应用前景。

#### 参考文献:

- 王莉衡,柯杨,强毅,等. 芦荟内生菌内生哈茨木霉 LH\_7 对植物病原菌的抗性[J]. 应用生态学报,2014,25(4):1130-1136.
- 纪丽莲,张强华,崔桂友. 芦竹内生真菌 F0238 对植物病原菌的拮抗作用[J]. 微生物学通报,2004,31(2):82-86.
- 邓振山,赵龙飞,张薇薇,等. 银杏内生真菌的分离及其对苹果腐烂病病原菌的拮抗作用[J]. 西北植物学报,2009,29(3):608-613.
- 陈毅坚,张灼,王艳,等. 云南红豆杉(*Taxus yunnanensis*)皮下真菌类群初步研究[J]. 生物技术,2002,12(6):10-12.
- 刘凤红. 蓝莓根系内生真菌多样性的研究[J]. 北方园艺,2015(21):25-30.
- 陈列忠,陈建明,郑许松,等. 枸骨内生真菌抗菌代谢产物的鉴定及活性研究[J]. 农药学报,2007,9(2):143-148.
- 胡娟,王皎,苗翠苹,等. 滇牡丹内生真菌 PR35 的鉴定及次生代谢产物的研究[J]. 中国中药杂志,2012,37(11):1602-1606.
- 李桂玲,王建锋,黄耀坚,等. 几种药用植物内生真菌抗真菌活性的初步研究[J]. 微生物学通报,2001,28(6):64-68.
- 吕书媛,吕国忠,姜华,等. 长白山自然保护区北坡岳桦树根系内生真菌的种类及分布[J]. 菌物研究,2013,11(4):251-255.
- 张少鹏,胥婷,杨丽强,等. 不同草原类型茅茅根部内生真菌群落结构[J]. 应用生态学报,2014,25(12):3475-3482.
- 鲁海菊,张建春,杞敬香,等. 枇杷内生木霉 P3.9 菌株抗菌谱研究[J]. 北方园艺,2014(24):103-107.
- 武汉琴,苏经迁,谢明英,等. 茶树内生木霉种的鉴定及其在植物体内的定殖[J]. 菌物学报,2009,28(3):342-348.
- 彭小伟,杨丽源,陈有为,等. 黄花夹竹桃内生真菌抗病原细菌的初步研究[J]. 菌物研究,2003,1(1):33-36.
- 赵春安,罗珊珊,毕艳艳,等. 三种水生植物内生真菌多样性及其抗真菌活性[J]. 微生物学通报,2009,36(9):1305-1310.
- 张树武,徐秉良,薛应钰,等. 长枝木霉 T6 菌株对黄瓜南方根结线虫的防治及其根际定殖作用[J]. 应用生态学报,2016,27(1):250-254.
- 腾安娜. 木霉菌对植物的促生效果及其机理的研究[D]. 济南:山东师范大学,2010.
- 李卫平,林福呈. 绿色木霉对蔬菜苗期病害的防治和促生作用[J]. 江苏农业学报,2000,12(2):106-107.
- 刘云龙,何永红,张旭东. 哈茨木霉对辣椒生长的影响[J]. 云南农业大学学报,2002,17(4):345-346.
- 曾华兰,叶鹏盛,李琼芳,等. 哈茨木霉 T23 对花生的促生增产作用[J]. 云南农业大学学报,2005,20(1):145-146.
- 王亚,谭昕,汪军,等. 体内定殖木霉 H6 对香蕉苗生长的影响[J]. 热带生物学报,2012,3(2):142-146.
- 苏经迁,王国红,杨民和. 茶树内生真菌混合培养增强对植物病原真菌的拮抗作用[J]. 菌物学报,2010,29(5):753-759.
- 杨蕾,周国英,梁军,等. 防治杨树溃疡病内生菌的分离筛选及鉴定[J]. 植物保护学报,2014,41(4):438-446.
- 胡云飞,李荣林,杨亦扬,等. 内生真菌短密木霉对茶树修剪叶降解及土壤真菌的影响[J]. 生态学杂志,2015,34(3):820-825.
- 方中达. 植物研究方法[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,1998:57-125.
- 段银芝,郎剑锋,孔凡彬,等. 4种农药对哈茨木霉生长的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(3):101-102.
- 鲁海菊,刘云龙,张云霞,等. 哈茨木霉多菌灵耐药性菌株的筛选[J]. 云南农业大学学报,2005,20(3):436-437.
- 王勇,杨秀荣,刘水芳. 拮抗木霉耐药性菌株的筛选及其与速克灵防治灰霉病的协调作用[J]. 天津农学院学报,2002,9(4):19-22.
- 尹婷. 深绿木霉 T2 对微生物种群数量的影响及抗药性菌株的筛选[D]. 兰州:甘肃农业大学,2012.
- 付文祥. 有机磷农药降解菌木霉 FM10 的生长条件研究[J]. 生物磁学,2005,5(3):29-31.
- 刘新,尤民生,魏英智,等. 木霉 Y 对毒死蜱和甲胺磷的降解作用[J]. 福建农林大学学报,2002,31(4):455-458.
- 田连生,陈菲. 木霉菌剂与多菌灵协调防治灰霉病试验[J]. 江苏农业科学,2013,41(12):132-133.
- 任凤山,王燕,翟一凡,等. 木霉与几种化学杀菌剂协调防治苹果轮纹病[J]. 北方园艺,2015,38(16):111-115.