

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.01.019

# 8种杀菌剂对9种薄壳山核桃炭疽病病原菌的毒力测定

孟珂<sup>1,2</sup>, 张亚波<sup>2\*</sup>, 常君<sup>2</sup>, 李志红<sup>1</sup>, 王迪<sup>1</sup>, 翟凤艳<sup>1\*</sup>, 舒金平<sup>2</sup>

(1. 河南科技学院, 河南新乡 453003; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江杭州 311400)

**摘要:** [目的] 测定8种杀菌剂对9种炭疽菌(26个菌株)的室内毒力, 筛选出防治薄壳山核桃炭疽病的高效药剂。[方法] 采用菌丝生长速率法测定8种杀菌剂对26株炭疽菌菌丝生长的抑制作用, 构建毒力回归方程, 并计算 $EC_{50}$ 值。[结果] 供试8种杀菌剂中, 咪鲜胺和咯菌腈对所分离的9种炭疽菌(26个菌株)菌丝生长的抑制作用最强, 平均 $EC_{50}$ 值分别为0.14、0.15  $mg \cdot L^{-1}$ 。戊唑醇对*C. fioriniae*、*C. liaoningense*、*C. tamarilloi*和*C. americana-borealis*菌丝生长的抑制作用较强(平均 $EC_{50} = 0.49 mg \cdot L^{-1}$ ), 但对另5种炭疽菌效果不明显(平均 $EC_{50} = 23.60 mg \cdot L^{-1}$ )。恶霉唑对*C. nymphaeae*、*C. siamense*、*C. alienum*、*C. fioriniae*和*C. coelogyne*菌丝生长的抑制作用较强(平均 $EC_{50} = 0.81 mg \cdot L^{-1}$ ), 但对另4种炭疽菌抑制效果一般(平均 $EC_{50} = 2.00 mg \cdot L^{-1}$ )。代森锰锌对9种病原菌菌丝生长的抑制性最差, 平均 $EC_{50}$ 值为42.70  $mg \cdot L^{-1}$ 。[结论] 咪鲜胺、咯菌腈对薄壳山核桃炭疽菌具有较高的毒力, 在薄壳山核桃炭疽病林间防治中具有较大的应用潜力。为避免产生抗药性, 建议轮换使用咪鲜胺、咯菌腈、恶霉唑和甲基硫菌灵等杀菌剂。

**关键词:** 薄壳山核桃; 炭疽病; 杀菌剂; 毒力测定

**中图分类号:** S763.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2021)01-0153-12

炭疽菌(*Colletotrichum* spp.)是一类重要的植物病原真菌, 分布广泛, 在热带和亚热带地区尤为突出<sup>[1]</sup>。炭疽菌可侵染植物叶、花、果、茎及嫩枝等, 引发各种植物炭疽病, 造成叶斑、叶枯、花腐、果腐和枝枯等症状, 严重时导致落叶、落花和落果, 甚至植株死亡, 给农林业生产造成极大损失, 被称为世界第八大植物致病真菌群<sup>[2]</sup>。

薄壳山核桃(*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch)又名美国山核桃、长山核桃, 原产于美国与墨西哥北部, 是重要的木本油料树种<sup>[3-5]</sup>。薄壳山核桃种仁油脂含量达65%以上, 其中, 不饱和脂肪酸含量90%以上, 其果实是世界著名干果之一<sup>[6]</sup>。近年来, 随着我国南方薄壳山核桃种植面积的不断扩大, 病虫害发生日益严重<sup>[7-8]</sup>, 在浙江、

江西和云南等薄壳山核桃主栽区爆发黑斑病, 落叶、落果现象严重, 造成重大的经济损失。研究发现, 炭疽菌是引发薄壳山核桃黑斑病的关键病原菌。由于该病具有潜伏期长、发病时间集中、爆发性强等特点, 选择高效、低毒的化学药剂进行防治是一种有效策略。

国内外学者针对炭疽菌的药效试验开展了大量研究, 筛选出了一系列高效药剂, 但不同种或同种菌不同菌株对杀菌剂存在着一定的特异性<sup>[9]</sup>, 如戊唑醇对柿树炭疽菌(*C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc)具有较好的抑制作用<sup>[10]</sup>, 而对辣椒炭疽菌(*C. gloeosporioides* (Penz.) Penz. and Sacc)抑制作用较差<sup>[11]</sup>。作者从不同地区的薄壳山核桃病叶和病果中, 分离到26株炭疽菌, 通过形态学特

收稿日期: 2020-03-23 修回日期: 2020-09-23

基金项目: 中国林科院基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2019ZB002); 浙江省省院合作林业科技项目(2017SY18)

\* 通讯作者: 张亚波. E-mail: zhangyabo1213@163.com 翟凤艳. E-mail: zhweifengyan@163.com

征和多基因序列分析共鉴定出 9 种炭疽菌。先前应用于其它植物炭疽病防治的杀菌剂对薄壳山核桃炭疽病菌的防治效果尚不清楚。因此,本研究利用菌丝生长速率法测定了 8 种杀菌剂对 9 种炭疽菌的室内毒力,以期筛选出高效低毒的杀菌剂,为薄壳山核桃炭疽病的防治提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

1.1.1 供试菌株 供试的 9 种引起薄壳山核桃炭疽病的炭疽菌菌株分别收集自浙江、江西、安徽及云南 4 地薄壳山核桃感病的叶片和果实(图 1),经分离纯化后于 PDA 斜面培养,4℃ 保存备用。菌种/株的详细信息见表 1。



图 1 薄壳山核桃黑斑病症状

Fig. 1 Symptoms of black-spot disease of pecan

1.1.2 供试药剂 供试药剂原药均由丙酮溶解,分别配制成  $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  的药剂母液,置于 4℃ 冰箱保存备用。供试药剂及试验浓度梯度见表 2。

1.1.3 培养基 马铃薯琼脂糖(PDA)培养基:去皮马铃薯 200 g,葡萄糖 20 g,琼脂 16 g 蒸馏水 1000 mL。

### 1.2 实验方法

采用菌丝生长速率法<sup>[10]</sup>测定 8 种杀菌剂对炭疽病菌的毒力。按试验浓度梯度配置含药剂的 PDA 培养基。将病原菌于 PDA 培养基上,25℃ 下预培养 5 d 后,在靠近菌落边缘打取直径 5 mm 的菌饼,接种于含药 PDA 培养基上,每个处理放置 1 个菌饼,设置 3 个重复,于 25℃ 培养箱中培养 6 d 后,采用十字交叉法测量每个菌落的直径,计算抑制率(抑制率= $(\text{对照组菌落直径}-\text{药剂组直径})/\text{对照组直径}\times 100\%$ )。基于抑制率构建回归方程,并计算抑制中浓度( $\text{EC}_{50}$ )。各处理均以丙酮为对照(CK),每处理重复 3 次。

### 1.3 数据处理与分析

利用 DPSV14.10 软件构建各药剂对不同菌种/

株的毒力回归方程(95%的置信限),并计算  $\text{EC}_{50}$  值。利用 SPSS 19.0 软件,采用单因素方差分析(One-way ANOVA, LSD)进行不同药剂  $\text{EC}_{50}$  值差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杀菌剂对 *C. fiorinia* 的毒力测定

建立 8 种药剂对 *C. fiorinia* 6 个菌株的毒力回归方程,并计算出各药剂对 *C. fiorinia* 及各菌株的抑制中浓度,结果(表 3)表明:8 种杀菌剂对 *C. fiorinia* 菌丝生长的抑制作用差异显著( $F_{(7,40)}=12.507, P<0.001$ );咯菌腈、咪鲜胺、戊唑醇和恶醚唑的抑制作用最强,平均  $\text{EC}_{50}$  值分别是  $0.13$ 、 $0.15$ 、 $0.58$ 、 $0.64 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;其次甲基硫菌灵、吡唑醚菌酯及啞菌酯,平均  $\text{EC}_{50}$  值分别是  $4.39$ 、 $5.50$ 、 $7.88 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ;代森锰锌的抑制效果最差,平均  $\text{EC}_{50}$  值仅为  $43.40 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。同一杀菌剂对同一菌种不同菌株菌丝生长的毒力也存在着差异。戊唑醇对供试的 6 个菌株菌丝生长抑制作用差异最大,其对 JD179 菌株的毒力( $\text{EC}_{50}=2.46$ )是 JD756 菌株( $\text{EC}_{50}=0.04$ )的 61.5 倍;其次,吡唑醚菌酯和咯菌腈 2 种药剂对不同菌株毒力最大差异倍数分别是 55.5 倍和 27.0 倍;甲基硫菌灵、恶醚唑、咪鲜胺、啞菌酯对 6 个菌株的毒力差异变化相对小,最大差异倍数仅为 1.61~3.83 倍(表 3)。

### 2.2 不同杀菌剂对 *C. fructicola* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. fructicola* 菌丝生长的抑制作用差异显著( $F_{(7,56)}=7.320, P<0.001$ )(表 4)。咯菌腈和咪鲜胺的抑制作用最强,平均  $\text{EC}_{50}$  值分别为  $0.11$ 、 $0.13 \text{ m}\cdot\text{L}^{-1}$ ;对菌株 JX073 的抑制效果较好的杀菌剂有吡唑醚菌酯( $\text{EC}_{50}=0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、甲基硫菌灵( $\text{EC}_{50}=0.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、咯菌腈( $\text{EC}_{50}=0.39 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、代森锰锌( $\text{EC}_{50}=0.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )、咪鲜胺( $\text{EC}_{50}=0.61 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ );戊唑醇对菌株 JX0731( $\text{EC}_{50}=0.53 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )抑制效果较好。

### 2.3 不同杀菌剂对 *C. nymphaeae* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. nymphaeae* 菌丝生长的抑制作用存在显著差异( $F_{(7,24)}=5.35, P=0.001$ )(表 5)。咪鲜胺、咯菌腈和恶醚唑对菌丝生长抑制作用最好;其次为啞菌酯、戊唑醇、甲基硫菌灵、吡唑醚菌酯;代森锰锌抑制作用最差。同一杀菌剂对不同菌株菌丝生长的毒力也存在着差异。戊

表 1 供试菌株

Table 1 Information of strains for test

种名 Species	菌株编号 Strain number	采集地点 Collection locations	纬度 N/(°)	经度 E/(°)	采集时间(年-月) Collecting time(year-month)	寄主部位 Host tissue
<i>C. fioriniae</i> (Marcelino and Gouli) Shivas and Tan	JD756	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	JD119	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	JD29	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	JD12	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	JD32	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	JD179	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
<i>C. fruticola</i> Prihastuti, Cai and Hyde	JD7536	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	JD031	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	JX073	江西吉安 Ji'an, Jiangxi	114.98	27.12	2018-09	枝 Branch
	JX0731	江西吉安 Ji'an, Jiangxi	114.98	27.12	2018-09	枝 Branch
	YN1751	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	102.55	24.35	2018-09	果实 Fruit
	YN191	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	102.55	24.35	2018-09	果实 Fruit
	YN1911	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	102.55	24.35	2018-09	果实 Fruit
<i>C. siamense</i> Prihastuti, Cai and Hyde	JX23	江西吉安 Ji'an, Jiangxi	114.98	27.12	2018-09	枝 Branch
	CZ622	安徽滁州 Chuzhou, Anhui	118.32	32.30	2018-09	果实 Fruit
<i>C. nymphaeae</i> (Pass.) Aa	JD3	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	叶片 Leaf
	JD31	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	果实 Fruit
	YN1633	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	102.55	24.35	2018-07	果实 Fruit
	JD043	浙江建德 Zhejiang, jiande	119.28	29.48	2018-07	叶片 Leaf
<i>C. americanae-borealis</i> Damm	JD2	浙江建德 Zhejiang, jiande	119.28	29.48	2018-07	叶片 Leaf
<i>D. alienum</i> Weir and Johnst.	YN182	云南玉溪 Yuxi, Yunnan	102.55	24.35	2018-07	果实 Fruit
	CZ52	安徽滁州 Chuzhou, Anhui	118.32	32.30	2018-09	果实 Fruit
<i>C. coelogyne</i> Damm	JH111	浙江金华 Jinhua, Zhejiang	119.65	29.08	2018-09	叶片 Leaf
<i>C. tamarilloi</i> Damm, Cannon and Crous	JD13	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	叶片 Leaf
<i>C. liaoningense</i> Diao, Zhang, Cai and Liu	JD041	浙江建德 Jiande, Zhejiang	119.28	29.48	2018-07	叶片 Leaf

表 2 供试药剂及浓度

Table 2 Fungicides and their concentration for tests

类别 Classification	药剂 Fungicide	公司 Company	CAS No.	试验浓度梯度 Concentration/(mg·L <sup>-1</sup> )
有机硫类 Organosulfurs	代森锰锌 Mancozeb	Sigma	8018-01-7	250、200、100、50、25
甲氧基丙烯酸酯类 Methoxyacrylates	吡唑醚菌酯 yraclostrobin	Sigma	175013-180	80、40、20、10、5
	啞菌酯 Azoxystrobin	Macklin	131341-86-1	20、10、5、2.5、1.25
三唑类 Triazoles	恶醚唑 Difenoconazole	Aladdin	119446-68-3	10、5、2.5、1.25、0.625
	戊唑醇 Tebuconazole	Sigma	13186-33-8	4、2、1、0.25、0.125
苯并咪唑类 Benzimidazoles	甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	Aladdin	23564-05-8	20、10、5、2.5、1.5
咪唑类 Imidazoles	咪鲜胺 Prochloraz	Aladdin	67747-09-5	1、0.5、0.25、0.125、0.0625
吡咯类 Pyrroles	咯菌腈 Fludioxonil	Aladdin	107534-96-3	2、1、0.5、0.25、0.125

表3 不同杀菌剂对 *C. fioriniae* 不同菌株菌丝生长的毒力测定Table 3 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. fioriniae*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )	EC <sub>50</sub> 值(平均值±标准误) EC <sub>50</sub> value(mean±SE)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JD29	$y = 2.85 + 1.08x$	98.94(61.32~159.62)	43.40 ± 11.43 a
	JD119	$y = 1.95 + 1.88x$	42.17(35.74~49.75)	
	JD12	$y = 2.75 + 1.45x$	35.46(28.90~43.50)	
	JD179	$y = 3.53 + 0.96x$	33.76(25.11~45.40)	
	JD756	$y = 2.57 + 1.72x$	25.92(21.83~30.76)	
	JD32	$y = 3.56 + 1.04x$	24.18(23.18~25.22)	
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JD756	$y = 6.23 + 2.59x$	13.32(10.01~17.72)	5.50 ± 2.08 b
	JD29	$y = 3.38 + 1.74x$	8.63(6.08~12.25)	
	JD32	$y = 3.48 + 1.78x$	7.17(6.50~7.90)	
	JD12	$y = 4.50 + 1.23x$	2.53(1.83~3.49)	
	JD119	$y = 4.97 + 0.98x$	1.09(0.37~3.14)	
	JD179	$y = 5.36 + 0.58x$	0.24(0.03~2.12)	
咯菌腈 Fludioxonil	JD756	$y = 5.99 + 1.73x$	0.27(0.20~0.35)	0.13 ± 0.04 b
	JD29	$y = 6.16 + 1.74x$	0.22(0.15~0.31)	
	JD32	$y = 6.33 + 1.78x$	0.18(0.16~0.20)	
	JD12	$y = 6.47 + 1.23x$	0.06(0.05~0.09)	
	JD119	$y = 6.54 + 0.98x$	0.03(0.01~0.08)	
	JD179	$y = 6.28 + 0.58x$	0.01(0.00~0.05)	
恶霉唑 Difenoconazole	JD119	$y = 5.05 + 1.25x$	0.91(0.66~1.25)	0.64 ± 0.10 b
	JD29	$y = 5.06 + 1.17x$	0.89(0.69~1.14)	
	JD179	$y = 5.12 + 1.02x$	0.76(0.70~0.83)	
	JD756	$y = 5.29 + 1.05x$	0.53(0.18~1.57)	
	JD12	$y = 5.39 + 1.01x$	0.42(0.16~1.10)	
	JD32	$y = 5.55 + 1.15x$	0.33(0.14~0.76)	
啶菌酯 Azoxystrobin	JD32	$y = 3.85 + 1.06x$	12.21(10.88~13.72)	7.88 ± 1.56 b
	JD179	$y = 3.94 + 1.01x$	11.14(9.51~13.06)	
	JD119	$y = 3.74 + 1.32x$	9.07(7.73~10.65)	
	JD12	$y = 4.42 + 0.63x$	8.21(6.40~10.53)	
	JD29	$y = 4.45 + 1.02x$	3.44(2.87~4.13)	
	JD756	$y = 4.54 + 0.91x$	3.19(2.53~4.01)	
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	JD119	$y = 4.28 + 0.98x$	5.48(4.00~7.52)	4.39 ± 0.31 b
	JD756	$y = 3.85 + 1.65x$	4.95(4.27~5.73)	
	JD179	$y = 4.37 + 0.95x$	4.62(3.12~6.86)	
	JD32	$y = 4.19 + 1.32x$	4.07(3.78~4.39)	
	JD12	$y = 4.45 + 0.93x$	3.84(2.59~5.70)	
	JD29	$y = 4.32 + 1.29x$	3.40(2.79~4.15)	
咪鲜胺 Prochloraz	JD756	$y = 5.96 + 1.40x$	0.21(0.17~0.25)	0.15 ± 0.02 b
	JD119	$y = 6.19 + 1.60x$	0.18(0.14~0.24)	
	JD29	$y = 6.15 + 1.34x$	0.14(0.11~0.17)	
	JD32	$y = 6.05 + 1.16x$	0.13(0.09~0.16)	
	JD12	$y = 6.01 + 1.06x$	0.11(0.06~0.21)	
	JD179	$y = 6.16 + 1.21x$	0.11(0.08~0.16)	

续表 3

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )	EC <sub>50</sub> 值(平均值 ± 标准误) EC <sub>50</sub> value(mean ± SE)/(mg·L <sup>-1</sup> )
戊唑醇 Tebuconazole	JD179	$y = 4.06 + 1.05x$	2.46(2.18~2.73)	0.58 ± 0.38 b
	JD29	$y = 5.72 + 1.34x$	0.29(0.16~0.55)	
	JD32	$y = 5.63 + 1.18x$	0.29(0.22~0.38)	
	JD12	$y = 5.52 + 0.88x$	0.25(0.13~0.49)	
	JD119	$y = 5.41 + 0.44x$	0.12(0.06~0.23)	
	JD756	$y = 5.79 + 0.55x$	0.04(0.02~0.06)	

注: EC<sub>50</sub>平均值后不同小写字母标注, 表示在同一列数据中  $P < 0.05$  水平上差异显著。下同。  
Note: the representation marked with different lowercase letters after the average value of EC<sub>50</sub> is significantly different at the level of  $P < 0.05$  in the same column of data. The same followed.

表 4 不同杀菌剂对 *C. fructicola* 不同菌株菌丝生长的毒力测定Table 4 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. fructicola*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )	EC <sub>50</sub> 值(平均值 ± 标准误) EC <sub>50</sub> value(mean ± SE)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JD7536	$y = 6.15 + 1.41x$	6.11(3.05~12.24)	40.31 ± 10.74 a
	JD031	$y = 4.45 + 1.15x$	2.98(1.32~6.75)	
	JX073	$y = 5.30 + 0.85x$	0.45(0.23~0.86)	
	JX0731	$y = 2.60 + 1.59x$	32.35(24.57~42.59)	
	YN1751	$y = 2.96 + 1.65x$	17.23(14.31~20.75)	
	YN191	$y = 2.54 + 1.37x$	62.11(36.11~106.83)	
	YN1911	$y = 3.47 + 1.14x$	22.14(19.26~25.46)	
	YN151	$y = 2.33 + 1.80x$	30.39(26.42~34.96)	
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JD7536	$y = 6.15 + 1.41x$	0.15(0.08~0.31)	4.31 ± 1.41 bc
	JD031	$y = 6.30 + 1.15x$	0.07(0.03~0.17)	
	JX073	$y = 6.66 + 0.85x$	0.01(0.01~0.02)	
	JX0731	$y = 4.27 + 1.29x$	1.29(2.10~6.49)	
	YN1751	$y = 3.04 + 1.76x$	12.88(10.62~15.62)	
	YN191	$y = 4.68 + 1.08x$	1.97(0.91~4.28)	
	YN1911	$y = 4.30 + 1.39x$	3.18(2.20~4.60)	
	YN151	$y = 3.63 + 1.83x$	5.58(3.23~9.64)	
咯菌腈 Fludioxonil	JD7536	$y = 4.76 + 0.95x$	1.78(1.58~2.01)	0.11 ± 0.03 b
	JD031	$y = 4.93 + 0.89x$	1.18(0.85~1.65)	
	JX073	$y = 5.37 + 0.91x$	0.39(0.26~0.60)	
	JX0731	$y = 6.34 + 1.29x$	0.09(0.05~0.16)	
	YN1751	$y = 5.87 + 1.76x$	0.32(0.27~0.39)	
	YN191	$y = 6.41 + 1.08x$	0.05(0.02~0.11)	
	YN1911	$y = 6.52 + 1.39x$	0.08(0.06~0.12)	
	YN151	$y = 6.57 + 1.83x$	0.14(0.08~0.24)	
恶霉唑 Difenoconazole	JD7536	$y = 3.86 + 1.33x$	7.14(5.33~9.55)	1.25 ± 0.21 b
	JD031	$y = 3.23 + 1.62x$	12.43(9.95~15.53)	
	JX073	$y = 3.79 + 1.40x$	7.31(5.91~9.03)	
	JX0731	$y = 4.55 + 1.29x$	2.23(1.59~3.11)	
	YN1751	$y = 5.09 + 0.99x$	0.82(0.53~1.26)	
	YN191	$y = 5.09 + 1.10x$	0.83(0.59~1.17)	
	YN1911	$y = 4.38 + 1.46x$	1.46(1.76~4.01)	
	YN151	$y = 4.81 + 1.47x$	1.34(1.04~1.73)	

续表 4

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )	EC <sub>50</sub> 值(平均值 ± 标准误) EC <sub>50</sub> value(mean ± SE)/(mg·L <sup>-1</sup> )
嘧菌酯 Azoxystrobin	JD7536	$y = 4.24 + 1.39x$	3.54(2.95~4.24)	6.99 ± 1.10 bc
	JD031	$y = 4.52 + 1.84x$	1.81(1.19~2.77)	
	JX073	$y = 4.59 + 1.70x$	1.75(1.12~2.74)	
	JX0731	$y = 3.47 + 1.83x$	6.87(6.05~7.81)	
	YN1751	$y = 4.94 + 0.90x$	1.16(0.63~2.13)	
	YN191	$y = 3.47 + 2.03x$	5.64(4.36~7.29)	
	YN1911	$y = 3.35 + 1.96x$	6.95(6.03~8.01)	
	YN151	$y = 3.78 + 1.31x$	8.45(7.22~9.88)	
甲基硫菌灵 Thiophanate~methyl	JD7536	$y = 6.04 + 1.28x$	0.15(0.12~0.19)	2.42 ± 0.26 b
	JD031	$y = 5.95 + 0.85x$	0.08(0.06~0.09)	
	JX073	$y = 6.58 + 1.89x$	0.14(0.10~0.22)	
	JX0731	$y = 4.31 + 1.55x$	2.81(2.04~3.87)	
	YN1751	$y = 4.34 + 1.71x$	2.43(1.77~3.34)	
	YN191	$y = 4.74 + 1.55x$	1.47(1.18~1.82)	
	YN1911	$y = 4.13 + 1.76x$	3.14(2.44~4.03)	
	YN151	$y = 4.37 + 1.59x$	2.48(1.82~3.39)	
咪鲜胺 Prochloraz	JD7536	$y = 4.93 + 0.66x$	1.27(0.63~2.59)	0.13 ± 0.03 b
	JD031	$y = 4.80 + 1.12x$	1.51(0.77~2.94)	
	JX073	$y = 5.30 + 1.37x$	0.61(0.40~0.92)	
	JX0731	$y = 6.17 + 1.00x$	0.07(0.05~0.09)	
	YN1751	$y = 6.39 + 1.13x$	0.06(0.04~0.09)	
	YN191	$y = 6.87 + 2.40x$	0.17(0.14~0.20)	
	YN1911	$y = 6.50 + 1.51x$	0.10(0.08~0.12)	
	YN151	$y = 6.04 + 1.87x$	0.28(0.18~0.43)	
戊唑醇 Tebuconazole	JD7536	$y = 2.35 + 1.30x$	107.40(57.04~202.53)	17.07 ± 9.45 c
	JD031	$y = 3.55 + 1.02x$	26.31(23.67~29.25)	
	JX073	$y = 3.18 + 1.32x$	24.38(18.02~32.98)	
	JX0731	$y = 5.41 + 1.49x$	0.53(0.38~0.74)	
	YN1751	$y = 3.71 + 1.31x$	9.59(4.44~20.73)	
	YN191	$y = 2.55 + 1.44x$	50.02(34.61~72.30)	
	YN1911	$y = 2.77 + 1.22x$	68.63(42.53~110.76)	
	YN151	$y = 4.53 + 0.72x$	4.43(1.28~15.33)	

唑醇的 EC<sub>50</sub> 值变异最大, 对 JD043 菌株的 EC<sub>50</sub> 值是 JD3 的 326.67 倍; 其次, 吡唑醚菌酯、嘧菌酯和恶醚唑的毒力差异倍数分别是 14.36、11.30、11.17 倍; 咪鲜胺、咯菌腈、代森锰锌及甲基硫菌灵对 4 个供试菌株的毒力差异相对稳定, 毒力差异倍数为 2.33~4.61 倍。

#### 2.4 不同杀菌剂对 *C. siamense* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. siamense* 菌丝生长的抑制作用

差异显著 ( $F_{(7,8)} = 22.553, P < 0.001$ ) (表 6)。咯菌腈、咪鲜胺的毒力较高, 代森锰锌的抑制作用最差; 吡唑醚菌酯、恶醚唑、甲基硫菌灵和戊唑醇对 JX23 菌株的抑制作用高于 CZ622 菌株, 戊唑醇对 2 个菌株的毒力变异最大, 对 CZ622 菌株的 EC<sub>50</sub> 值是 JX23 菌株的 14.34 倍。

#### 2.5 不同杀菌剂对 *C. alienum* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. alienum* 菌丝生长的抑制作用

表5 不同杀菌剂对 *C. nymphaeae* 不同菌株菌丝生长的毒力测定Table 5 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. nymphaeae*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )	EC <sub>50</sub> 值(平均值 ± 标准误) EC <sub>50</sub> value(Mean ± SE)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JD3	$y = 2.77 + 1.40x$	39.44(35.04~44.40)	50.73 ± 19.83 a
	JD31	$y = 2.43 + 1.26x$	106.50(63.95~187.63)	
	JD043	$y = 3.66 + 0.93x$	28.10(26.47~29.83)	
	YN1633	$y = 2.98 + 1.43x$	25.84(18~37.11)	
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JD3	$y = 2.71 + 2.30x$	79.83(7.25~13.33)	11.36 ± 3.69 b
	JD31	$y = 3.72 + 1.71x$	5.56(5.00~6.19)	
	JD043	$y = 3.42 + 1.76x$	7.94(7.36~8.57)	
	YN1633	$y = 3.33 + 1.24x$	22.12(13.57~36.05)	
咯菌腈 Fludioxonil	JD3	$y = 6.40 + 2.30x$	0.25(0.18~0.33)	0.29 ± 0.09 b
	JD31	$y = 6.47 + 1.71x$	0.14(0.12~0.15)	
	JD043	$y = 6.23 + 1.76x$	0.20(0.18~0.21)	
	YN1633	$y = 5.32 + 1.24x$	0.55(0.34~0.90)	
恶醚唑 Difenoconazole	JD3	$y = 5.60 + 0.64x$	0.12(0.05~0.26)	0.80 ± 0.28 b
	JD31	$y = 4.83 + 1.35x$	1.34(1.16~1.55)	
	JD043	$y = 5.18 + 0.77x$	0.59(0.30~1.17)	
	YN1633	$y = 4.92 + 1.05x$	1.18(0.93~1.50)	
啉菌酯 Azoxystrobin	JD3	$y = 4.02 + 1.57x$	4.18(3.20~5.47)	2.70 ± 0.89 b
	JD31	$y = 4.09 + 1.51x$	4.01(3.16~5.09)	
	JD043	$y = 4.53 + 1.37x$	2.22(1.63~3.01)	
	YN1633	$y = 5.23 + 0.54x$	0.37(0.20~0.67)	
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	JD3	$y = 4.21 + 1.02x$	5.95(4.84~7.32)	5.78 ± 1.60 b
	JD31	$y = 4.25 + 1.06x$	5.11(4.15~6.30)	
	JD043	$y = 4.75 + 0.76x$	2.15(1.05~4.38)	
	YN1633	$y = 3.60 + 1.40x$	9.91(8.03~12.23)	
咪鲜胺 Prochloraz	JD3	$y = 5.84 + 0.82x$	0.09(0.07~0.12)	0.13 ± 0.03 b
	JD31	$y = 5.79 + 0.82x$	0.11(0.08~0.16)	
	JD043	$y = 6.09 + 1.59x$	0.21(0.17~0.26)	
	YN1633	$y = 6.17 + 1.27x$	0.12(0.10~0.15)	
戊唑醇 Tebuconazole	JD3	$y = 5.85 + 0.71x$	0.06(0.04~0.10)	5.08 ± 4.87 b
	JD31	$y = 5.55 + 0.70x$	0.16(0.06~0.42)	
	JD043	$y = 1.71 + 2.54x$	19.60(14.71~26.31)	
	YN1633	$y = 5.39 + 1.00x$	0.41(0.27~0.63)	

差异显著 ( $F_{(7,8)} = 18.45, P < 0.002$ ) (表7)。咯菌腈、咪鲜胺及恶醚唑的抑制作用相对较好, 平均 EC<sub>50</sub> 值分别为 0.09、0.14、0.90 mg·L<sup>-1</sup>。其次是啉菌酯、甲基硫菌灵及吡唑醚菌酯 3 种药剂。同一杀菌剂对不同菌株的菌丝生长抑制作用也具有差异, 戊唑醇对供试菌株抑制差异最大, 最高

EC<sub>50</sub> 值是最低值的 215.69 倍; 咪鲜胺、恶醚唑毒力差异倍数分别是 3.00、2.98 倍; 甲基硫菌灵、代森锰锌、吡唑醚菌酯、咯菌腈、啉菌酯对 2 个供试菌株的毒力差异倍数最小, 为 1.34~1.79 倍。

## 2.6 不同杀菌剂对 *C. tamarilloi* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. tamarilloi* 菌丝生长的具有一

表6 不同杀菌剂对 *C. siamense* 不同菌株菌丝生长的毒力测定Table 6 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. siamense*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )	EC <sub>50</sub> 值(平均值±标准误) EC <sub>50</sub> value(Mean±SE)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JX23	$y = 1.68 + 2.08x$	39.4(29.96~51.97)	44.35 ± 4.89 a
	CZ622	$y = 2.82 + 1.29x$	49.2(39.65~61.13)	
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JX23	$y = 6.47 + 0.87x$	0.82(0.06~10.85)	3.95 ± 3.13 b
	CZ622	$y = 4.22 + 0.92x$	7.07(5.26~9.52)	
咯菌腈 Fludioxonil	JX23	$y = 6.47 + 0.87x$	0.02(0.00~0.27)	0.10 ± 0.08 b
	CZ622	$y = 5.69 + 0.92x$	0.18(0.13~0.24)	
恶醚唑 Difenoconazole	JX23	$y = 5.25 + 0.86x$	0.51(0.44~0.59)	0.98 ± 0.47 b
	CZ622	$y = 4.85 + 0.93x$	1.44(1.28~1.63)	
啞菌酯 Azoxystrobin	JX23	$y = 4.52 + 0.71x$	4.69(3.51~6.27)	4.03 ± 0.67 b
	CZ622	$y = 4.41 + 1.12x$	3.36(2.95~3.84)	
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	JX23	$y = 4.28 + 1.22x$	3.89(3.52~4.31)	6.06 ± 2.17 b
	CZ622	$y = 3.86 + 1.25x$	8.22(5.88~11.48)	
咪鲜胺 Prochloraz	JX23	$y = 6.31 + 1.79x$	0.19(0.15~0.23)	0.19 ± 0.01 b
	CZ622	$y = 6.21 + 1.61x$	0.18(0.12~0.26)	
戊唑醇 Tebuconazole	JX23	$y = 5.04 + 1.41x$	0.93(0.83~1.05)	7.14 ± 6.21 b
	CZ622	$y = 2.75 + 2.00x$	13.34(9.01~19.75)	

定的抑制作用(表8),其中,咯菌腈、咪鲜胺和戊唑醇对 *C. tamarilloi* 菌株的抑制作用较好, EC<sub>50</sub> 值小于 1.00; 而代森锰锌的对 *C. tamarilloi* 菌株的抑制作用较差 (EC<sub>50</sub> = 71.63)。

### 2.7 不同杀菌剂对 *C. americanae-borealis* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. americanae-borealis* 菌丝生长的抑制作用有明显差异(表9)。咪鲜胺、咯菌腈及戊唑醇对供试菌株菌丝生长有较强的抑制作用, EC<sub>50</sub> 值为 0.01~0.48 mg·L<sup>-1</sup>; 代森锰锌 EC<sub>50</sub> 值为 47.10 mg·L<sup>-1</sup>, 对 *C. americanae-borealis* 的毒力相对较差。

### 2.8 不同杀菌剂对 *C. coelogyne* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. coelogyne* 菌丝的生长均存在抑制作用(表10), 其中, 咪鲜胺对菌丝生长抑制效果佳, EC<sub>50</sub> 值为 0.10 mg·L<sup>-1</sup>; 代森锰锌和戊唑醇对菌丝生长的抑制作用较差, 平均 EC<sub>50</sub> 值为 33.29 和 62.40 mg·L<sup>-1</sup>。

### 2.9 不同杀菌剂对 *C. liaoningense* 的毒力测定

8 种杀菌剂对 *C. liaoningense* 菌丝的生长均表现出一定的抑制作用(表11)。8 种杀菌剂中, 咪鲜胺 (EC<sub>50</sub> = 0.13 mg·L<sup>-1</sup>)、咯菌腈 (EC<sub>50</sub> = 0.24 mg·L<sup>-1</sup>) 及戊唑醇 (EC<sub>50</sub> = 0.48 mg·L<sup>-1</sup>) EC<sub>50</sub> 值均

小于 1.00, 抑制效果较好。

### 2.10 不同杀菌剂对供试 26 株炭疽菌的毒力

将 8 种杀菌剂对 26 株炭疽菌的毒力进行了总体分析, 结果(图2)表明: 8 种杀菌剂对供试菌株的毒力不同, 其中, 咪鲜胺和咯菌腈 2 种药剂对所筛选的 9 种炭疽菌、26 个菌株的菌丝生长抑制作用最强, EC<sub>50</sub> 值为 0.01~0.28 mg·L<sup>-1</sup>, 平均 EC<sub>50</sub> 值分别为 0.14 和 0.15 mg·L<sup>-1</sup>; 其次为恶醚唑, EC<sub>50</sub> 值为 0.51~2.08 mg·L<sup>-1</sup>, 平均 EC<sub>50</sub> 值为 1.08 mg·L<sup>-1</sup>; 再次为甲基硫菌灵、吡唑醚菌酯和啞菌酯, EC<sub>50</sub> 值为 0.24~22.12 mg·L<sup>-1</sup>, 平均 EC<sub>50</sub> 值分别为 4.13、6.12、6.94 mg·L<sup>-1</sup>; 代森锰锌对 26 株炭疽菌菌丝抑制作用差异较大, EC<sub>50</sub> 值均在 17.23 mg·L<sup>-1</sup> 以上, 其中, 3 株炭疽菌 EC<sub>50</sub> 值超过 100.00 mg·L<sup>-1</sup>。

## 3 讨论

本研究采用菌丝生长速率法, 测定了 8 种杀菌剂对 9 种炭疽菌、26 个菌株的室内毒力, 结果表明: 咪鲜胺和咯菌腈对 26 株炭疽菌均具有较高的生长抑制作用, 且菌株对其均较敏感, 其次为恶醚唑和甲基硫菌灵。



表 7 不同杀菌剂对 *C. alienum* 不同菌株菌丝生长的毒力测定Table 7 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. alienum*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )	EC <sub>50</sub> 值(平均值 ± 标准误) EC <sub>50</sub> value(Mean ± SE)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	YN182	$y = 2.07 + 1.75x$	47.35(39.74~56.42)	56.41 ± 9.07 a
	CZ52	$y = 2.35 + 1.46x$	65.40(51.73~82.88)	
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	YN182	$y = 4.57 + 0.96x$	2.82(1.52~5.23)	3.57 ± 0.75 b
	CZ52	$y = 3.88 + 1.76x$	4.32(1.62~11.48)	
咯菌腈 Fludioxonil	YN182	$y = 6.11 + 0.96x$	0.07(0.04~0.13)	0.09 ± 0.02 b
	CZ52	$y = 6.70 + 1.76x$	0.11(0.04~0.29)	
恶霉唑 Difenconazole	YN182	$y = 4.81 + 1.47x$	1.34(1.04~1.73)	0.90 ± 0.45 b
	CZ52	$y = 5.26 + 0.74x$	0.45(0.37~0.55)	
啶菌酯 Azoxystrobin	YN182	$y = 3.52 + 2.44x$	4.06(2.98~5.53)	3.16 ± 0.90 b
	CZ52	$y = 4.23 + 2.16x$	2.27(1.36~3.80)	
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	YN182	$y = 4.40 + 1.34x$	2.83(2.25~3.56)	3.30 ± 0.48 b
	CZ52	$y = 3.96 + 1.80x$	3.78(1.29~11.07)	
咪鲜胺 Prochloraz	YN182	$y = 5.94 + 0.80x$	0.07(0.05~0.09)	0.14 ± 0.07 b
	CZ52	$y = 6.61 + 2.36x$	0.21(0.13~0.33)	
戊唑醇 Tebuconazole	YN182	$y = 5.56 + 1.61x$	0.45(0.21~0.96)	48.75 ± 28.30 a
	CZ52	$y = 3.21 + 0.90x$	97.06(85.44~110.25)	

表 8 不同杀菌剂对 *C. tamarilloi* 同一菌株菌丝生长的毒力测定Table 8 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. tamarilloi*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JD13	$y = 2.07 + 1.58x$	71.63(35.17~145.87)
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JD13	$y = 6.37 + 1.02x$	1.89(1.24~2.88)
咯菌腈 Fludioxonil	JD13	$y = 5.33 + 1.02x$	0.05(0.02~0.08)
恶霉唑 Difenconazole	JD13	$y = 4.51 + 2.00x$	1.75(1.46~2.11)
啶菌酯 Azoxystrobin	JD13	$y = 3.52 + 1.15x$	19.70(14.06~27.76)
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	JD13	$y = 4.21 + 1.07x$	5.51(4.51~6.73)
咪鲜胺 Prochloraz	JD13	$y = 6.13 + 1.14x$	0.10(0.07~0.15)
戊唑醇 Tebuconazole	JD13	$y = 5.12 + 0.31x$	0.41(0.20~0.85)

表 9 不同杀菌剂对 *C. americanae-borealis* 同一菌株菌丝生长的毒力测定Table 9 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. americanae-borealis*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JD2	$y = 2.82 + 1.30x$	47.10(39.55~56.12)
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JD2	$y = 3.72 + 1.61x$	6.21(4.66~8.28)
咯菌腈 Fludioxonil	JD2	$y = 6.30 + 1.61x$	0.16(0.12~0.21)
恶霉唑 Difenconazole	JD2	$y = 4.86 + 1.84x$	1.20(1.03~1.40)
啶菌酯 Azoxystrobin	JD2	$y = 4.04 + 1.14x$	6.93(6.29~7.63)
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	JD2	$y = 4.18 + 1.79x$	2.88(1.81~4.58)
咪鲜胺 Prochloraz	JD2	$y = 6.83 + 0.96x$	0.01(0.01~0.02)
戊唑醇 Tebuconazole	JD2	$y = 5.50 + 1.57x$	0.48(0.22~1.05)

表 10 不同杀菌剂对 *C. coelogyne* 同一菌株菌丝生长的毒力测定

Table 10 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. coelogyne*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JH111	$y = 2.75 + 1.48x$	33.29(25.00~44.32)
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JH111	$y = 3.28 + 1.86x$	8.36(6.36~11.00)
咯菌腈 Fludioxonil	JH111	$y = 6.27 + 1.86x$	0.21(0.16~0.27)
恶霉唑 Difenconazole	JH111	$y = 5.35 + 0.04x$	0.77(0.68~1.06)
啶菌酯 Azoxystrobin	JH111	$y = 3.98 + 1.55x$	4.56(3.40~6.12)
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	JH111	$y = 4.46 + 1.07x$	3.17(2.92~3.44)
咪鲜胺 Prochloraz	JH111	$y = 6.49 + 1.51x$	0.10(0.07~0.15)
戊唑醇 Tebuconazole	JH111	$y = 2.16 + 1.58x$	62.40(51.52~75.64)

表 11 不同杀菌剂对 *C. liaoningense* 同一菌株菌丝生长的毒力测定

Table 11 Toxicity test of different fungicides against mycelial growth of *C. liaoningense*

杀菌剂 Fungicides	菌株 Strains	毒力回归方程 Toxicity regression equation	抑制中浓度 EC <sub>50</sub> (95%CL)/(mg·L <sup>-1</sup> )
代森锰锌 Mancozeb	JD041	$y = 3.76 + 0.94x$	21.10(18.24~24.55)
吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	JD041	$y = 6.18 + 1.91x$	9.54(6.34~14.51)
咯菌腈 Fludioxonil	JD041	$y = 5.08 + 1.51x$	0.24(0.16~0.36)
恶霉唑 Difenconazole	JD041	$y = 4.79 + 0.88x$	1.72(1.59~1.86)
啶菌酯 Azoxystrobin	JD041	$y = 3.67 + 1.37x$	9.38(8.39~10.49)
甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	JD041	$y = 4.11 + 1.11x$	6.29(5.36~7.39)
咪鲜胺 Prochloraz	JD041	$y = 5.86 + 0.97x$	0.13(0.10~0.17)
戊唑醇 Tebuconazole	JD041	$y = 5.48 + 1.49x$	0.48(0.40~0.57)

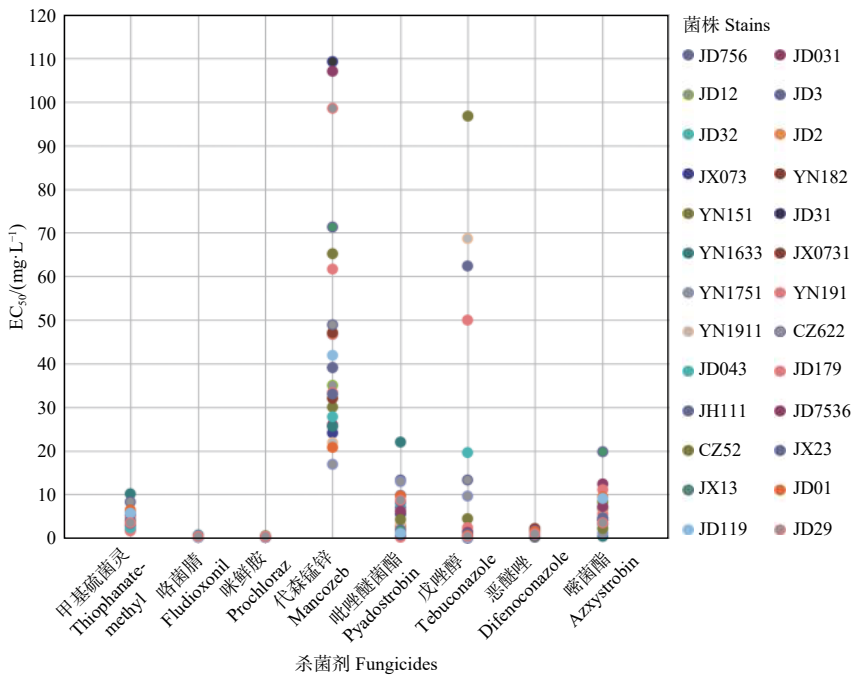


图 2 8 种杀菌剂对 26 株炭疽菌的毒力

Fig. 2 Virulence of 8 fungicides for 26 strains of *Colleotrichum* spp.

炭疽菌属 (*Colletotrichum* Cda.) 是一个复杂的属,包括多个致病种,且部分种致病力极强,给农业生产带来巨大损失<sup>[1,12]</sup>。大量研究表明,不同炭疽菌种/菌株对杀菌剂的敏感性存在显著差异<sup>[13-15]</sup>。刘霞等<sup>[15]</sup>研究表明,咪鲜胺和戊唑醇对4株胶孢炭疽菌 (*C. gloeosporioides* Penz.) 菌丝生长的抑制作用较高,甲基硫菌灵和代森锰锌对4株胶孢炭疽菌菌丝抑制效果差异显著。高杨杨等<sup>[11]</sup>研究认为,吡唑醚菌酯、咯菌腈对尖孢炭疽菌 (*C. acutatum* Simmonds) 的菌丝生长和孢子萌发均具有很高的抑制效果。陈圆等<sup>[16]</sup>研究认为,25%吡唑醚菌酯乳油、50%咪鲜胺锰盐可湿性粉剂和430 g·L<sup>-1</sup>戊唑醇悬浮剂对火龙果 (*Hylocereus polyrhizus* Webb. Britton & Rose) 胶孢炭疽菌的抑制效果较好。也有研究表明,甲基硫菌灵、代森锰锌和咪鲜胺等常用杀菌剂对炭疽菌引起的辣椒炭疽病的田间防治效果差<sup>[17]</sup>;炭疽菌对甲基硫菌灵等苯并咪唑类药物具有较强的耐受力<sup>[18-19]</sup>。本研究结果表明,所选用的8种药剂(6类)对9种炭疽菌的菌丝生长抑制效果显著不同,且同一药剂对同种炭疽菌的毒力因菌株的不同呈现出明显差异;所筛选的咪鲜胺和咯菌腈适用性最广,对9种炭疽菌、26个菌株均具有较高的生长抑制作用,其次为恶醚唑和甲基硫菌灵;但代森锰锌对9种炭疽菌、26个菌株的抑制作用不明显。

研究表明,同一药剂的反复施用易迫使害虫产生抗药性<sup>[20-21]</sup>。李河等<sup>[22-23]</sup>发现,我国油茶 (*Camellia oleifera* Abel.) 苗圃炭疽病菌已对多菌灵、乙霉威和戊唑醇产生严重的抗药性。本研究结果表明,戊唑醇和代森锰锌对26个菌株的EC<sub>50</sub>值差异较大,分布在0.04~100.00 mg·L<sup>-1</sup>,吡唑醚菌酯和啞菌酯次之,EC<sub>50</sub>值分布在0.24~22.12 mg·L<sup>-1</sup>之间,说明个别菌株对以上4种药剂敏感性可能降低;同时还发现,来自不同地理位置的菌株对不同杀菌剂的敏感性不同。浙江建德和浙江金华的菌株,对咪鲜胺、咯菌腈和戊唑醇较敏感;来自云南玉溪的菌株对咪鲜胺、咯菌腈、恶醚唑和甲基硫菌灵较敏感,安徽滁州的菌株对咪鲜胺、咯菌腈、恶醚唑和啞菌酯较敏感;江西吉安菌株对咪鲜胺、咯菌腈、吡唑醚菌酯和甲基硫菌灵较敏感。建议在生产中因地制宜地合理选择杀菌剂防治薄壳山核桃黑斑病。

## 4 结论

由炭疽菌引起的薄壳山核桃炭疽病是目前危害

薄壳山核桃的主要病害。研究表明,咪鲜胺和咯菌腈抑制薄壳山核桃炭疽菌适用性最广,效果最佳,其次为恶醚唑和甲基硫菌灵,4种杀菌剂为防治薄壳山核桃炭疽病的有效药剂。为避免产生抗药性,建议在生产中轮换使用咪鲜胺、咯菌腈、恶醚唑和甲基硫菌灵等杀菌剂。

## 参考文献:

- [1] Cannon P F, Damm U, Johnston P R, et al. *Colletotrichum*-current status and future directions[J]. *Studies in Mycology*, 2012, 73(1): 181-213.
- [2] Dean R, Van K J, Pretorius Z A, et al. The Top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2012, 13(4): 414-430.
- [3] 胡芳名,谭晓风,刘惠民,等.中国主要经济树种栽培与利用[M].北京:中国林业出版社,2006:66-71.
- [4] 李川,姚小华,王开良,等.薄壳山核桃无性系果实性状指标简化研究[J].江西农业大学学报:自然科学版,2011,33(4):696-700.
- [5] 陈芬,姚小华,高焕章,等.薄壳山核桃不同无性系开花物候特性观测和比较[J].林业科学研究,2015,28(2):209-216.
- [6] 常君,李川,姚小华,等.薄壳山核桃无性系含油率及脂肪酸组成分析[J].西南师范大学学报:自然科学版,2017,42(8):51-57.
- [7] 王益明,李瑞瑞,张慧,等.指数施肥对美国山核桃幼苗生物量及氮积累的影响[J].生态学杂志,2018,37(10):2920-2926.
- [8] 巨云为,赵盼盼,黄麟,等.薄壳山核桃主要病害发生规律及防控[J].南京林业大学学报:自然科学版,2015,39(4):31-36.
- [9] 胡秀荣,鹿连明,蒲占滔,等.7种杀菌剂对柑橘炭疽病菌的室内毒力测定[J].中国农学通报,2010,26(11):272-275.
- [10] 曲健禄,武海斌,范昆,等.柿树炭疽病菌的生物学特性及几种杀菌剂对其的抑制作用[J].农学学报,2012,14(5):503-509.
- [11] 高杨杨,禾丽菲,李北兴,等.山东省辣椒炭疽病原菌的鉴定及高效防治药剂的筛选[J].中国农业科学,2017,50(8):1452-1464.
- [12] Damm U, Baroncelli R, Cai L, et al. *Colletotrichum*: species, ecology and interactions[J]. *IMA Fungus*, 2010, 1(2): 161-165.
- [13] 林雄杰,王贤达,范国成,等.枇杷心腐病病原菌鉴定及其防治药剂室内毒力测定[J].植物保护学报,2016,43(5):828-835.
- [14] Chung W H, Ishii H, Nishimura K, et al. Fungicide sensitivity and phylogenetic relationship of anthracnose fungi isolated from various fruit crops in Japan[J]. *Plant Disease*, 2006, 90(4): 506-512.
- [15] 刘霞,杨克强,朱玉凤,等.8种杀菌剂对核桃炭疽病原菌胶孢炭疽菌的室内毒力[J].农学学报,2013,15(4):412-420.
- [16] 陈圆,严婉荣,赵志祥,等.海南省火龙果炭疽病原菌鉴定及有效药剂筛选[J].基因组学与应用生物学,2017,6(2):638-643.
- [17] 夏花,朱宏建,周倩,等.湖南芷江辣椒上一种新炭疽病的病原鉴定[J].植物病理学报,2012,42(2):120-125.
- [18] Peres N, Souza N L, Zitko S E, et al. Activity of benomyl of control of postbloom fruit drop of citrus caused by *Colletotrichum acutatum* [J]. *Plant Disease*, 2002, 86(6): 620-624.

- [19] Talhinhas P, Sreenivasaprasad S, Neves J, *et al.* Molecular and phenotypic analyses reveal association of diverse *Colletotrichum acutatum* groups and a low level of *C. gloeosporioides* with olive anthracnose[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(6): 2987-2998.
- [20] Bosch F V D, Oliver R, Berg F V D, *et al.* Governing principles can guide fungicide-resistance management tactics[J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2014, 52(1): 175-195.
- [21] Hollomon D W. Fungicide resistance: facing the challenge — a review[J]. *Plant Protection Science*, 2015, 51(4): 170-176.
- [22] 李 河, 周国英, 章怀云, 等. 油茶苗圃炭疽病菌抗药性研究[J]. *植物病理学报*, 2012, 42(2): 206-213.
- [23] 李 河, 李司政, 王悦辰, 等. 油茶苗圃炭疽病原菌鉴定及抗药性[J]. *林业科学*, 2019, 55(5): 84-94.

## Toxicity Test with 8 Fungicides Against 9 Pathogens of Pecan Anthracnose ( *Colletotrichum* spp.)

MENG Ke<sup>1,2</sup>, ZHANG Ya-bo<sup>2</sup>, CHANG Jun<sup>2</sup>, LI Zhi-hong<sup>1</sup>, WANG Di<sup>1</sup>, ZHAI Feng-yan<sup>1</sup>, SHU Jin-ping<sup>2</sup>

(1. He'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, He'nan, China;

2. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** [Objective] To test the toxicity of 8 fungicides against *Colletotrichum* in laboratory and screen out effective fungicides to control pecan anthracnose. [Method] The method of comparing mycelia growth rate was used to determine the fungistasis of 8 fungicides to 26 strains of 9 *Colletotrichum* species, then the virulence regression equations were built, and the EC<sub>50</sub> values for each fungicide were calculated. [Result] Among the 8 fungicides tested, Prochloraz and Fludioxonil showed the strongest fungistasis to mycelium growth of all trains, with an average EC<sub>50</sub> value of 0.14 mg·L<sup>-1</sup> and 0.15 mg·L<sup>-1</sup>, respectively. Tebuconazole had a strong fungistasis to mycelium growth of *C. fioriniae*, *C. liaoningense*, *C. tamarilloi* and *C. americanae-borealis* (mean EC<sub>50</sub> = 0.49 mg·L<sup>-1</sup>), but showed a moderate inhibitory effect on other 5 species (mean EC<sub>50</sub> = 23.60 mg·L<sup>-1</sup>). Difenoconazole had a strong inhibitory effect on mycelium growth of five *Colletotrichum* species, *C. nymphaeae*, *C. siamense*, *C. alienum*, *C. fioriniae* and *C. coelogyne*s (mean EC<sub>50</sub> = 0.81 mg·L<sup>-1</sup>), but showed low virulence for the other 4 species (mean EC<sub>50</sub> = 2.00 mg·L<sup>-1</sup>). The virulence of Mancozeb for the 9 pathogens was the worst, with the average EC<sub>50</sub> value of 42.70 mg·L<sup>-1</sup>. [Conclusion] Prochloraz and Fludioxonil show high virulence for pecan anthracnose, and are the optimal candidates for field control against pecan anthracnose. It is suggested to use Prochloraz, Fludioxonil, Difenoconazole and Thiofanate-methyl in rotation to control pecan anthracnose effectively and avoid developing resistance.

**Keywords:** *Carya illinoensis*; anthracnose; fungicide; toxicity test

(责任编辑: 金立新)