

◆ 药效与应用 ◆

4种杀菌剂及其复配剂对禾谷镰孢菌的毒力影响

王 栓,陈金鹏,付刘元,姜 佳,车志平,田月娥,刘圣明*,陈根强*

(河南科技大学园艺与植物保护学院植物保护系,河南洛阳 471023)

摘要:采用菌丝生长速率法测定了氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺4种杀菌剂及其不同配比复配剂对禾谷镰孢菌的室内联合毒力。结果表明,氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺对禾谷镰孢菌的有效抑制中浓度(EC_{50})分别为0.210 7、0.025 3、1.747 0和0.126 7 $\mu\text{g/mL}$ 。复配剂氟唑菌酰胺:咯菌腈(1:1、5:1, V/V),氟烯菌酯:咯菌腈(3:1, V/V)具有增效作用,增效比(SR)在1.59~1.68,其中以氟烯菌酯和咯菌腈(3:1, V/V)时增效作用最好,其SR值为1.68;其他不同比例的不同组合复配剂均表现为相加作用,其SR值范围为0.50~1.42。综上所述,氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺4种不同类型的杀菌剂可以通过交替或复配使用,阻止和延缓禾谷镰孢菌抗药性的进一步发展,为小麦赤霉病防控提供依据。

关键词:小麦赤霉病;禾谷镰孢菌;杀菌剂;复配剂

中图分类号:S 482.2 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2021.05.011

Toxic Effect of Four Types of Fungicides and Their Mixtures on *Fusarium graminearum*

WANG Shuan, CHEN Jinpeng, FU Liuyuan, JIANG Jia, CHE Zhiping, TIAN Yue'e, LIU Shengming*, Chen Genqiang*
(Department of Plant Protection, College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Henan Luoyang 471023, China)

Abstract: Toxicities of phenamacril, fludioxonil, prothioconazole and pydiflumetofen, and their mixtures to *Fusarium graminearum* from wheat were detected by the method of mycelial growth assay *in vitro*. The results showed that the EC_{50} values for phenamacril, fludioxonil, prothioconazole and pydiflumetofen were 0.210 7, 0.025 3, 1.747 0 and 0.126 7 $\mu\text{g/mL}$, respectively. When pydiflumetofen and fludioxonil at the ratio of 1:1 and 5:1 by volume, as well as phenamacril and fludioxonil at the ratio of 3:1 by volume demonstrated synergistic inhibition effect, with the synergy ratio ranging from 1.59 to 1.68. Among these, the mixtures of phenamacril and fludioxonil (3:1, V/V) had the highest inhibition activity against *F. graminearum* at the synergy ratio of 1.68. The synergy ratio of other mixtures was 0.50 to 1.42, indicating additive inhibition. The results indicated that phenamacril, fludioxonil, prothioconazole and pydiflumetofen, and their mixtures could be used alternately in controlling the fusarium head blight of wheat caused by *F. graminearum* and delaying fungicide resistance further development.

Key words: fusarium head blight; *Fusarium graminearum*; fungicide; mixture

由禾谷镰孢菌引起的小麦赤霉病是小麦生产中的流行性重要病害之一^[1-3],发生条件为小麦抽穗扬花期遭遇持续性的高温高湿天气。另外,由于灌

溉和秸秆还田等耕作方式变化的影响,黄淮冬小麦种植区小麦赤霉病发生频率较往年有显著的提高,尤其是豫南和豫东地区。由于病害流行和危害程度

收稿日期:2021-04-07

基金项目:河南省重大科技专项(201300111600) 河南省自然科学基金杰出青年基金项目(212300410015) 中原青年拔尖人才(ZYQR201912157);

河南省高校科技创新人才支持计划(20HASTIT033) 河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2018GGJS051)

作者简介:王栓(1995—),男,河南南阳人,硕士研究生,主要研究方向为植物病害化学防治。E-mail:425163594@qq.com

通信作者:刘圣明(1981—),男,河南商丘人,博士,副教授,主要从事杀菌剂抗性研究。E-mail:liushengmingzb@163.com

(共同通信作者:陈根强(1968—),男,河南洛阳人,博士,副教授,主要从事农药学研究。E-mail:genqiangchen@126.com; <http://www.cnki.net>)

不同,该病可造成5%~50%的减产,严重时甚至绝收。小麦赤霉病不仅会造成小麦减产,而且影响小麦的品质。由禾谷镰孢菌侵染产生的脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)等毒素可导致人和家畜不同程度中毒,威胁粮食安全^[4-5]。由于缺乏抗病品种,小麦赤霉病的防控主要采用化学防治,但是由于赤霉病流行和用药次数的增多,田间抗药性菌株被频繁报道。自1922年前人研究发现第一例禾谷镰孢菌对多菌灵的抗药性菌株以来,江苏、安徽、浙江、河南等地区陆续发现禾谷镰孢菌对多菌灵等防控药剂的抗药性菌株,且群体数量迅速增长,田间防效下降,甚至丧失^[6-10]。

对于抗药性问题的治理,在生产上对作用机制与结构类型不同的杀菌剂进行复配是一种常见且非常有效的手段,这既能提高防效,降低农药使用量,又可以延缓病原菌抗药性的发生发展。因此笔者通过对2-氟基丙烯酸酯类杀菌剂氟烯菌酯、苯基吡咯类杀菌剂咯菌腈、甾醇脱甲基化抑制剂(DMI)类杀菌剂丙硫菌唑、琥珀酸脱氢酶抑制剂(SDHI)类杀菌剂氟唑菌酰胺4种不同作用机制和结构类型的杀菌剂进行联合毒力测定,筛选出对禾谷镰孢菌具有较高抑菌活性的药剂组合,明确最佳配比,延长药剂使用寿命,从而为小麦赤霉病的抗药性治理和防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试菌株

供试菌株为本实验室2019年在河南省采集、分离后保存的禾谷镰孢菌。

表 1 测定 4 种杀菌剂毒力的浓度设计

杀菌剂	药剂浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)							
氟烯菌酯	0	0.025	0.050	0.100	0.200	0.400	0.800	1.600
咯菌腈	0	0.003 125	0.006 25	0.012 5	0.025 0	0.050 0	0.100 0	
丙硫菌唑	0	0.312 5	0.625 0	1.250 0	2.500 0	5.000 0		
氟唑菌酰胺	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.80	1.60	

1.5 复配剂毒力测定

采用菌丝生长速率法测定复配剂对禾谷镰孢菌的离体毒力。将氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺4种药剂按照表2所示的浓度梯度进行两元复配后,分别加入到灭菌热熔冷却至50℃左右的PSA培养基中,制成所需浓度(表2)的PSA含药平板,以不加药剂的空白PSA平板为对照。

根据上述测定和计算方法,按式(1)求出各复配药剂的 EC_{50} 值,按式(2)求出SR值,当SR值大于等

1.2 供试药剂

氟烯菌酯原药(有效浓度93.4%),江苏省农药研究所股份有限公司;咯菌腈原药(有效浓度98%),江苏耕耘化学有限公司;丙硫菌唑原药(有效浓度95%)山东海利尔化工有限公司;氟唑菌酰胺原药(有效浓度98%),瑞士先正达作物保护有限公司。将氟烯菌酯预溶于甲醇,咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺预溶于丙酮,分别配置成 $10^4 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的母液,待用。

1.3 供试培养基

PSA培养基:马铃薯200 g,蔗糖20 g,琼脂15~20 g,加蒸馏水至1 000 mL。

1.4 4种杀菌剂毒力测定

在室内通过菌丝生长速率法测定氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺对禾谷镰孢菌的离体毒力^[11-14]。将氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺母液稀释成所需要的浓度,加入到预热的灭菌PSA培养基中,制成不同浓度的(表1)含药平板,以不加药剂的空白PSA平板为对照。用直径为5 mm的打孔器,选取在25℃黑暗条件下培养72 h的禾谷镰孢菌菌落边缘打孔制备菌饼,然后用接种针挑取菌饼,分别接种于含氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺系列浓度的PSA平板上。将各平板放于生化培养箱内,25℃黑暗条件下培养72 h,测量并记录菌落直径。各处理重复3次,试验重复3次。根据禾谷镰孢菌在不同浓度药剂平板上的线性生长速率,计算出各浓度药剂对病原菌的生长抑制率,数据用DPS统计软件进行处理,求出各药剂的 EC_{50} 值。

于1.5时为增效作用,在0.5和1.5之间为相加作用,小于0.5为拮抗作用^[15]。

$$EC_{50}(\text{Exp}) = \frac{a+b}{\frac{a}{EC_{50}(A)} + \frac{b}{EC_{50}(B)}} \quad (1)$$

$$SR = \frac{EC_{50}(\text{Exp})}{EC_{50}(\text{Obs})} \quad (2)$$

注:A、B为复配药剂,a、b为药剂在配方中所占的比例; $EC_{50}(\text{Exp})$ 为理论抑制中浓度, $EC_{50}(\text{Obs})$ 为实际测量抑制中浓度。

表2 复配剂不同比例浓度设计

复配剂	药剂比例		药剂浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)					
氟唑菌酰胺:咯菌腈	1:1	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
	1:3	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
	1:5	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
	3:1	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
	5:1	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
氟烯菌酯:丙硫菌唑	1:1	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
	1:3	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
	1:5	0	0.05	0.2	0.8	3.2		
	3:1	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
	5:1	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6
咯菌腈:丙硫菌唑	1:1	0	0.006 25	0.012 5	0.025 0	0.050 0	0.100 0	0.200 0
	1:3	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
	1:5	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
	3:1	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400		
	5:1	0	0.006 25	0.012 5	0.025 0	0.050 0	0.100 0	0.200 0
氟烯菌酯:咯菌腈	1:1	0	0.012 5	0.050	0.200	0.800		
	1:3	0	0.012 5	0.025	0.050	0.100	0.200	
	1:5	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80		
	3:1	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80		
	5:1	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80		
氟烯菌酯:氟唑菌酰胺	1:1	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400	1.600	
	1:3	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400	1.600	
	1:5	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400	1.600	
	3:1	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400	1.600	
	5:1	0	0.006 25	0.025	0.100	0.400	1.600	
丙硫菌唑:氟唑菌酰胺	1:1	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80	3.20	
	1:3	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80	3.20	
	1:5	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80	3.20	
	3:1	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80	3.20	
	5:1	0	0.012 5	0.05	0.20	0.80	3.20	

2 结果与分析

2.1 4种单剂对禾谷镰孢菌的毒力测定

采用菌丝生长速率法测定了氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺4种药剂对禾谷镰孢菌的室

内离体毒力。结果显示,4种杀菌剂对禾谷镰孢菌的有效抑制中(EC_{50})浓度分别为:0.210 7、0.025 3、1.747 0和0.126 7 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (表3),表明4种药剂对禾谷镰孢菌均具有较好的抑制效果,其中咯菌腈对禾谷镰孢菌菌丝生长的抑制效果最好,毒力最高。

表3 4种药剂单剂对禾谷镰孢菌的毒力影响

杀菌剂	毒力回归方程	有效抑制中浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	相关系数
氟烯菌酯	$y=6.163 7+1.720 4 x$	0.210 7	0.995 9
咯菌腈	$y=6.809 7+1.133 4 x$	0.025 3	0.992 6
丙硫菌唑	$y=4.673 0+1.349 5 x$	1.747 0	0.964 8
氟唑菌酰胺	$y=6.147 5+1.278 9 x$	0.126 7	0.994 1

2.2 复配剂对禾谷镰孢菌的毒力测定

将氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺4种药剂采用两元复配的方式按一定的比例进行两两复配,测定各复配剂对禾谷镰孢菌的毒力。结果显示,不同组合、不同配比的复配剂对禾谷镰孢菌

的毒力不同(表4)。复配剂氟唑菌酰胺和咯菌腈(1:1、5:1, V/V),氟烯菌酯和咯菌腈(3:1, V/V)具有增效作用,SR值在1.59~1.68,其中以后者增效作用最好,其SR值为1.68。其他不同比例的不同组合复配剂均为相加作用,其SR值在0.50~1.42。

表 4 不同复配剂对禾谷镰孢菌的毒力影响

复配剂	药剂比例	毒力回归方程	相关系数	实际测量抑制中浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	理论抑制中浓度/($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	增效比
氟唑菌酰胺:咯菌腈	1:1	$y=7.763\ 0+1.745\ 3\ x$	0.930 6	0.026 1	0.042 2	1.62
	1:3	$y=8.292\ 7+2.096\ 3\ x$	0.977 1	0.026 9	0.031 6	1.17
	1:5	$y=6.858\ 7+1.270\ 9\ x$	0.998 8	0.034 5	0.029 2	0.85
	3:1	$y=6.352\ 5+1.002\ 2\ x$	0.932 5	0.044 7	0.063 3	1.42
	5:1	$y=6.151\ 0+0.871\ 3\ x$	0.974 7	0.047 8	0.075 9	1.59
氰烯菌酯:丙硫菌唑	1:1	$y=5.588\ 0+1.331\ 9\ x$	0.988 2	0.361 8	0.337 6	1.04
	1:3	$y=5.397\ 8+1.506\ 8\ x$	0.990 3	0.544 5	0.618 9	1.14
	1:5	$y=4.823\ 8+0.898\ 4\ x$	0.954 6	1.570 7	0.788 6	0.50
	3:1	$y=5.759\ 0+1.542\ 4\ x$	0.972 4	0.322 0	0.270 0	0.84
	5:1	$y=5.978\ 7+1.522\ 5\ x$	0.991 2	0.227 5	0.246 9	1.09
咯菌腈:丙硫菌唑	1:1	$y=6.147\ 2+0.893\ 7\ x$	0.988 7	0.052 0	0.049 9	0.96
	1:3	$y=5.475\ 5+0.843\ 2\ x$	0.990 6	0.272 9	0.097 0	1.13
	1:5	$y=5.274\ 6+0.837\ 8\ x$	0.947 5	0.470 2	0.141 5	1.14
	3:1	$y=6.681\ 0+1.155\ 9\ x$	0.991 0	0.035 1	0.033 6	1.14
	5:1	$y=6.549\ 8+1.048\ 8\ x$	0.988 7	0.033 3	0.030 3	1.02
氰烯菌酯:咯菌腈	1:1	$y=8.152\ 7+2.429\ 5\ x$	0.906 5	0.050 4	0.045 2	0.90
	1:3	$y=8.803\ 3+2.468\ 6\ x$	0.968 6	0.028 8	0.032 4	1.13
	1:5	$y=8.339\ 4+2.348\ 6\ x$	0.922 6	0.037 9	0.029 6	0.78
	3:1	$y=6.887\ 4+1.394\ 6\ x$	0.940 4	0.044 3	0.074 4	1.68
	5:1	$y=7.831\ 8+2.530\ 6\ x$	0.876 9	0.076 0	0.094 8	1.25
氰烯菌酯:氟唑菌酰胺	1:1	$y=5.870\ 3+0.915\ 5\ x$	0.979 1	0.112 0	0.158 2	1.41
	1:3	$y=5.831\ 7+0.895\ 3\ x$	0.978 1	0.117 8	0.140 7	1.20
	1:5	$y=5.668\ 8+0.847\ 3\ x$	0.969 7	0.162 4	0.135 7	0.84
	3:1	$y=5.869\ 0+1.229\ 9\ x$	0.985 0	0.196 6	0.180 7	0.92
	5:1	$y=5.911\ 3+1.057\ 4\ x$	0.985 0	0.020 8	0.021 6	1.04
丙硫菌唑:氟唑菌酰胺	1:1	$y=5.405\ 7+0.709\ 6\ x$	0.948 0	0.268 1	0.236 3	0.88
	1:3	$y=5.427\ 5+0.718\ 6\ x$	0.975 2	0.254 2	0.164 9	0.65
	1:5	$y=5.539\ 0+0.885\ 7\ x$	0.971 8	0.246 3	0.149 9	0.61
	3:1	$y=5.160\ 0+0.585\ 5\ x$	0.943 4	0.533 1	0.416 2	0.78
	5:1	$y=5.062\ 6+0.584\ 6\ x$	0.985 3	0.781 3	0.557 8	0.71

3 结果与讨论

目前关于禾谷镰孢菌抗药性的治理,主要采用的策略是将不同作用机制的杀菌剂进行轮换或复配使用。氰烯菌酯属于2-氰基丙烯酸酯类杀菌剂,主要作用于禾谷镰孢菌的肌球蛋白-5,干扰其活性,影响肌动蛋白组装,从而导致菌体的死亡或生长缺陷^[16]。咯菌腈属于苯基吡咯类杀菌剂,是渗透信号传导的分裂蛋白活化激酶、组氨酸激酶抑制剂,通过抑制葡萄糖磷酸化有关的转移,抑制病原菌菌丝体的生长^[17-18]。丙硫菌唑属于DMI类杀菌剂,其作用机制是抑制真菌中甾醇前体——羊毛甾醇或2,4-亚甲基二氢羊毛甾14位的脱甲基化作用,影响麦角甾醇的生物合成,抑制病原菌菌丝的生长^[19]。氟唑菌酰胺属于SDI类杀菌剂,主要通过抑制病原菌琥珀酸脱氢酶活性,影响呼吸链电子传导系统,阻碍其能量代谢,从而抑制病原菌的生长^[20]。

笔者通过生长速率法测定了氰烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺4种不同类型的单剂及其二元混配对禾谷镰孢菌的毒力,明确了4种单剂及其二元混配抑制禾谷镰孢菌的最佳配比。单剂研究结果显示,4种药剂对禾谷镰孢菌的有效抑制中浓度由高到低分别为丙硫菌唑1.747 0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、氰烯菌酯0.210 7 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、氟唑菌酰胺0.126 7 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 、咯菌腈0.025 3 $\mu\text{g}/\text{mL}$,表明4种药剂对禾谷镰孢菌菌丝生长具有较好的抑制效果;复配剂的研究结果显示,按1:1、1:3、1:5、3:1、5:1的体积比例进行复配时,复配剂氟唑菌酰胺和咯菌腈(1:1、5:1, V/V),氰烯菌酯和咯菌腈(3:1, V/V)具有增效作用,SR值在1.59~1.68,其中以氰烯菌酯和咯菌腈(3:1, V/V)时增效作用最好,其SR值为1.68。其他不同比例的不同组合复配剂均表现为相加作用,其SR值在0.5~1.42,说明各组合复配剂之间作用机理互不影响。

综上所述,实验结果表明,氟烯菌酯、咯菌腈、丙硫菌唑和氟唑菌酰胺4种不同作用机制的杀菌剂及其两两复配对禾谷镰孢菌均表现为增效或者相加作用,且对禾谷镰孢菌均具有较高的毒力,所以在生产中推荐使用这4种不同作用机制的杀菌剂进行交替或者复配使用,降低或阻止禾谷镰孢菌抗药性的发生发展,对有效防治小麦赤霉病具有重要的指导意义。

参考文献

- [1] 黄冲,姜玉英,吴佳文,等. 2018年我国小麦赤霉病重发特点及原因分析[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 160-163.
- [2] 陈云,王建强,杨荣明,等. 小麦赤霉病发生危害形势及防控对策[J]. 植物保护, 2017, 43(5): 11-17.
- [3] 邵振润,周明国,仇剑波,等. 2010年小麦赤霉病发生与抗性调查研究及防控对策[J]. 农药, 2011, 50(5): 385-389.
- [4] 徐飞,宋玉立,杨共强. 戊唑醇不同防治时间对小麦赤霉病发生和籽粒中DON毒素积累的影响[J]. 植物保护, 2018, 44(1): 179-185.
- [5] 徐飞,杨共强,宋玉立,等. 不同小麦品种(系)对赤霉病的抗性和麦穗组织中DON毒素积累分析[J]. 植物病理学报, 2014, 44(6): 651-657.
- [6] 周明国,叶钟音,刘经芬. 杀菌剂抗药性研究进展[J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(3): 33-41.
- [7] LIU S M, FU L Y, WANG S, et al. Carbendazim resistance of *Fusarium graminearum* from Henan wheat[J]. Plant Disease, 2019, 103: 2536-2540.
- [8] CHEN Y, YANG X, GU C Y, et al. Genotypes and phenotypic characterization of field *Fusarium asiaticum* isolates resistant to carbendazim in Anhui province of China[J]. Plant Disease, 2015, 99: 342-346.
- [9] CHEN H, WU Q, ZHANG G, et al. Carbendazim-resistance of *Gibberella zeae* associated with fusarium head blight and its management in Jiangsu province, China[J]. Crop Protection, 2019,

124: 104866.

- [10] CHEN C J, WANG J X, LUO Q Q, et al. Characterization and fitness of carbendazim-resistant strains of *Fusarium graminearum* (wheat scab)[J]. Pest Management Science, 2007, 63: 1201-1207.
- [11] 农业部农药检定所. NY/T1156.2—2006农药室内生物测定试验准则杀菌剂第2部分:抑制病原真菌菌丝生长试验平皿法[S]. 北京:中国农业出版社, 2006.
- [12] 陈雨,张文芝,周明国. 氟烯菌酯对禾谷镰孢菌分生孢子萌发及菌丝生长的影响[J]. 农药学学报, 2007, 9(3): 235-239.
- [13] 向礼波,杨立军,薛敏峰,等. 禾谷镰孢菌对氟唑菌酰胺敏感性基线的建立及药剂田间防效[J]. 农药学学报, 2018, 20(4): 445-451.
- [14] 徐建强,平忠良,马世闯,等. 河南省小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性[J]. 植物保护学报, 2018, 45(6): 185-191.
- [15] 刘圣明,海飞,车志平,等. 4种杀菌剂及其复配剂对番茄灰霉病菌的毒力[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 230-234.
- [16] ZHENG Z, HOU Y, CAI Y, et al. Whole-genome sequencing reveals that mutations in myosin-5 confer resistance to the fungicide phenamacril in *Fusarium graminearum* [J]. Scientific Reports, 2015, 5:8248.
- [17] LIU S M, HAI F, JIANG J. Sensitivity to fludioxonil of *Botrytis cinerea* isolates from tomato in Henan province of China and characterizations of fludioxonil-resistant mutants [J]. Journal of Phytopathology, 2016, 165(2):98-104.
- [18] 赵建江,张小风,马志强,等. 番茄灰霉病菌对咯菌腈的敏感基线及其与不同杀菌剂的交互抗性[J]. 农药, 2013, 52(9): 684-685.
- [19] BECK M E, NEGRONI J, MATTHIESEN S, et al. A binding mode hypothesis for prothioconazole binding to CYP51 derived from first principles quantum chemistry [J]. Journal of Computer-Aided Molecular Design, 2020, 35: 493-503.
- [20] SUN H Y, CUI J H, TIAN B H, et al. Resistance risk assessment for *Fusarium graminearum* to pydiflumetofen, a new succinate dehydrogenase inhibitor[J]. Pest Management Science, 2020, 76(4): 1549-1559.

(责任编辑:徐娟)

(上接第50页)

炭疽菌的室内毒力[J]. 农药学学报, 2013, 15(4): 412-420.

- [11] 宋化稳,徐娜娜,高德良,等. 16种杀菌剂对桃褐腐病菌菌丝生长和孢子萌发的抑制作用比较[J]. 现代农药, 2020, 19(6): 49-540.
- [12] 段海明. 杀菌剂毒理与应用技术[M]. 合肥:安徽大学出版社, 2019.
- [13] 郭劼,王晓琳,黄洁雪,等. 7种杀菌剂对草莓胶孢炭疽菌和灰霉病菌的室内毒力测定[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(20): 129-133.

[14] 陈文,黄海,谭清群,等. 13种杀菌剂对芒果炭疽病菌的室内毒力测定及田间防效[J]. 中国南方果树, 2018, 47(3): 70-72; 76.

- [15] 胡晓颖,赵杰. 四种杀菌剂对胶孢炭疽菌的毒力测定[J]. 北方园艺, 2016(8): 112-114.
- [16] 刘永刚,李佳佳,李昭煜,等. 枸杞炭疽病防治药剂筛选[J]. 植物保护, 2016, 42(1): 230-234.
- [17] 郑金龙,李秋洁,易克贤,等. 9种杀菌剂对桂花草胶孢炭疽病菌的室内毒力测定[J]. 热带农业科学, 2015, 35(2): 66-69.
- [18] 彭昀. 新型SDHI类杀菌剂吡噻菌胺对橡胶树胶孢炭疽菌的生物学活性研究[D]. 海南:海南大学, 2020.

(责任编辑:高蕾)