

## 10%乙霉威·腐霉利微粉剂的研制及其 对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果

揣红运<sup>1</sup>, 石延霞<sup>1</sup>, 柴阿丽<sup>1</sup>, 杨杰<sup>2</sup>, 谢学文<sup>1</sup>, 李宝聚<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; <sup>2</sup>西藏自治区农牧科学院, 拉萨 850032)

**摘要:**【目的】获得对多主棒孢 (*Corynespora cassiicola*) 抑菌活性高的杀菌剂乙霉威和腐霉利的最佳混配比例, 将其加工成微粉剂并确定其对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果。【方法】采用菌丝生长速率法, 测定乙霉威与腐霉利不同配比混合物对多主棒孢的毒力, 以 Wadley 公式评价其协同作用, 明确最佳增效组合; 通过单因素试验、正交试验筛选载体、助剂及最优配比, 确定其最佳配方后, 利用气流粉碎机超微粉加工成微粉剂, 测定其对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果。【结果】乙霉威与腐霉利以质量比 1:1、1:4 进行混配时, 对多主棒孢菌株 HG09112606、FQ07091401、HG11011509 均表现为毒力增效作用, 增效系数分别为 3.19、2.53、1.68; 1.99、1.77、1.98, 其中 1:1 的混配组合增效作用较为明显。以质量分数为 10% 的乙霉威·腐霉利为有效成分, 3% 的萘磺酸钠盐甲醛缩合物 NNO 为分散剂, 3% 的十二烷基硫酸钠 K12 为表面活性剂, 1% 的聚氧乙烯烷基醚为稳定剂, 15% 的白炭黑和补足至 100% 的硅藻土为载体而研制的 10% 乙霉威·腐霉利微粉剂粒径为 6.18  $\mu\text{m}$ , 分散指数 95.18%, 浮游性指数 86.26, 含水率 1.24%, 坡度角 67°, 热贮分解率 4.12%, 各项检测结果均符合标准。在盆栽试验中, 10% 乙霉威·腐霉利微粉剂在用药量为 100 g a. i. /hm<sup>2</sup> 时喷粉对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果为 89.82%, 显著高于对照药剂 35% 苯甲·咪鲜胺水乳剂、43% 氟菌·肟菌酯悬浮剂在推荐用量时喷雾的防治效果; 在田间试验中, 10% 乙霉威·腐霉利微粉剂在用量为 100 g a. i. /hm<sup>2</sup> 时喷粉对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果为 84.39%, 与 35% 苯甲·咪鲜胺水乳剂在用量为 300 g a. i. /hm<sup>2</sup>、43% 氟菌·肟菌酯悬浮剂在用量为 90 g a. i. /hm<sup>2</sup> 时的喷雾防治效果无显著性差异。【结论】乙霉威和腐霉利混配使用对多主棒孢具有不同程度的毒力增效作用; 按照选定的配方加工成的 10% 乙霉威·腐霉利微粉剂粒径小, 分散指数、浮游性指数高, 贮存稳定, 在黄瓜棒孢叶斑病的防治方面具有广阔的应用前景。

**关键词:** 多主棒孢; 黄瓜棒孢叶斑病; 微粉剂; 乙霉威; 腐霉利; 防治效果

## Development of 10% Diethofencarb·Procymidone Micropowder and Its Control Efficacy to Cucumber *Corynespora* Leaf Spot

CHUAI HongYun<sup>1</sup>, SHI YanXia<sup>1</sup>, CHAI ALi<sup>1</sup>, YANG Jie<sup>2</sup>, XIE XueWen<sup>1</sup>, LI BaoJu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; <sup>2</sup>Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032)

**Abstract:** 【Objective】The objective of this study is to obtain the optimal mixing ratio of diethofencarb and procymidone, which had high inhibitory activity against *Corynespora cassiicola*, the micropowder was prepared and its control efficacy on cucumber leaf spot was determined in the field. 【Method】The inhibitory activity of the mixtures at different mixing ratios to *C. cassiicola* was determined by mycelial growth rate method. The synergistic effect was evaluated according to the Wadley formula and the best synergism combination was defined. Through single factor test, orthogonal test, the carrier, additives and optimal ratio

收稿日期: 2018-10-31; 接受日期: 2019-01-09

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0200603、2016YFD0201000)、农业部园艺作物遗传改良重点开放实验室

联系方式: 揣红运, E-mail: 805724482@qq.com。通信作者谢学文, E-mail: xiexuewen@caas.cn。通信作者李宝聚, E-mail: libaoju@caas.cn

were screened, the best formula was determined and then micropowder was processed by using air jet mill. The control efficacy of micropowder on cucumber leaf spot was determined. 【Result】 When the mass ratio of diethofencarb and procymidone was 1 : 1 and 1 : 4, the virulence synergistic effect against *C. cassiicola* strains HG09112606, FQ07091401 and HG11011509 was observed, with the synergistic ratios of 3.19, 2.53, 1.68; 1.99, 1.77, 1.98, respectively. Among which, the ratio of 1 : 1 had a significant synergistic effect. Active ingredient diethofencarb and procymidone account for 10%, dispersant NNO accounts for 3%, surfactant K12 accounts for 3%, stabilizer polyoxyethylene alkyl ether accounts for 1%, carrier carbon-white is 15% and diatomite make up to 100%. The results showed that the above formulation had excellent characteristics, and the particle size is 6.18  $\mu\text{m}$ , the dispersion index is 95.18%, the planktonic index is 86.26, the water content is 1.24%, the slope angle is 67°, and the thermal storage decomposition rate is 4.12%. All above test results are in accordance with standard. In the pot experiment, the control efficacy of 10% diethofencarb and procymidone micropowder on the cucumber leaf spot by powder injection method was 89.82% when the dosage was 100 g a.i./ $\text{hm}^2$ , which was significantly higher than that of the control agent 35% difenoconazole-prochloraz emulsion in water (EW) and 43% fluopyram-trifloxystrobin suspension concentrate (SC) agent spray at the recommended dosage. In the field test, the control efficacy of 10% diethofencarb and procymidone micropowder on the cucumber leaf spot by powder injection method was 84.39% when the dosage was 100 g a.i./ $\text{hm}^2$ , which had no significant difference with that of spray with 35% difenoconazole-prochloraz EW in the amount of 300 g a.i./ $\text{hm}^2$ , 43% fluopyram-trifloxystrobin SC in the amount of 90 g a.i./ $\text{hm}^2$ . 【Conclusion】 Diethofencarb and procymidone used in combinations had different degrees of synergistic interaction against cucumber *Corynespora* leaf spot. The 10% diethofencarb-procymidone micropowder prepared according to the selected formula has the advantages of small particle size, high dispersion index and planktonic index, and storage stability. It has a broad application prospect in the control of cucumber *Corynespora* leaf spot.

**Key words:** *Corynespora cassiicola*; cucumber *Corynespora* leaf spot; micropowder; diethofencarb; procymidone; control efficacy

## 0 引言

【研究意义】由多主棒孢(*Corynespora cassiicola*)引起的黄瓜棒孢叶斑病是一种世界性分布的重要植物真菌病害,一般田间叶片发病率为10%—25%,严重时可达70%,甚至100%<sup>[1]</sup>。随着设施黄瓜的大量种植,棚室内高温高湿的小气候环境十分有利于黄瓜棒孢叶斑病的发生与流行,使得棒孢叶斑病逐渐发展成为危害我国黄瓜生产的主要病害之一<sup>[2]</sup>,目前化学防治是控制该病最有效的手段。保护性杀菌剂在发病前使用,防治效果相对较差,治疗性杀菌剂防治效果较好,但作用位点单一,病原菌的抗药性问题不容忽视<sup>[3]</sup>。乙霉威(diethofencarb)和腐霉利(procymidone)为对多主棒孢具有较高抑菌活性的内吸性杀菌剂<sup>[4]</sup>,尽管目前有研究报道多主棒孢对乙霉威产生抗药性,但是抗性频率较低,且该药剂与苯并咪唑类杀菌剂具有负交互抗药性<sup>[5]</sup>,腐霉利作用位点单一,属于高抗药性风险药剂<sup>[4]</sup>。因此将乙霉威和腐霉利混配加工成具有粒径小,分散性好,流动性强,贮存稳定,农药利用率高且施药不需兑水等优点的微粉剂<sup>[6]</sup>,并明确其对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果,对于更好地防治黄瓜棒孢叶斑病及延长这2种药剂的使用寿命和降低田间苯并咪唑类杀菌剂抗性的产生具有重要意义。【前人研

究进展】乙霉威是由日本住友公司在1984年开发的一种苯氨基甲酸酯类内吸性杀菌剂,广泛应用于多种蔬菜病害的防治,具有较强的保护和治疗效果<sup>[7]</sup>,其作用机理是通过与菌体细胞的微管蛋白相结合,进而抑制细胞分裂,使菌体死亡。HASAMA等<sup>[8]</sup>研究表明,乙霉威能够明显降低田间棒孢叶斑病的发生,且具有明显增产效应。但是近年来,黄大野<sup>[4]</sup>对浙江、辽宁、河北、北京、海南、内蒙古等地区的163个多主棒孢菌株研究发现,其对乙霉威抗性频率达11%。腐霉利是由德国巴斯夫公司开发生产的一种二甲酰亚胺类内吸性杀菌剂,该药剂对孢子萌发和菌丝生长均具有较高的抑制作用,已被广泛地用于控制多主棒孢、灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)、核盘菌(*Sclerotinia* spp.)和链格孢菌(*Alternaria* spp.)等引起的植物真菌病害<sup>[3]</sup>。该类药剂的作用机制尚不明确,推测可能是干扰渗透压上组氨酸激酶和活化蛋白激酶而呈现抗菌活性<sup>[9]</sup>。湛江华等<sup>[10]</sup>研究表明,腐霉利单独使用极易诱发病原菌产生抗药性。微粉剂是在吸油率高的矿物微粉和黏土微粉所组成的填料中加入原药、助剂混合后,再经气流粉碎机粉碎到10  $\mu\text{m}$ 以下的一种粉剂。撒布时粒子不凝集,以单一颗粒在空中浮游、扩散,然后均匀地附着于植株各个部位,因而防治效果较好<sup>[11]</sup>。目前,我国有关农药微粉剂的研究较少,粉尘剂、可

湿性粉剂的报道较多, 秦宝福<sup>[11]</sup>通过单因素试验确定了苦皮藤素微粉剂的最佳载体为高岭土, 助剂为萘磺酸钠盐甲醛缩合物(NNO); 赵卫松等<sup>[12]</sup>通过单因素试验确定了枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)粉尘剂的最佳配方为滑石粉 20%、分散剂 GY-D900 2%、菌株 BAB-1 原药补足至 100%; 李姝江等<sup>[13]</sup>通过正交试验确定了解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)可湿性粉剂的最佳配方。正交试验是研究多因素多水平的一种设计方法, 能提高剂型配方筛选的科学性。日本农药学会<sup>[6]</sup>通过试验研究筛选出微粉剂的最佳配方, 结果表明加入一定量的分散剂、表面活性剂、稳定剂, 能提高微粉颗粒在植株叶片上的附着效应, 降低农药分解效率, 显著提高农药的有效利用率。【本研究切入点】农药复配是病原菌抗性治理的有效途径, 目前还未见 10%乙霉威·腐霉利微粉剂的研制及其对黄瓜棒孢叶斑病田间防治效果的研究报道。【拟解决的关键问题】测定乙霉威和腐霉利不同比例混合物对多菌灵/乙霉威双高抗菌株、多菌灵高抗乙霉威敏感菌株以及多菌灵敏感乙霉威高抗菌株的毒力, 确定其增效作用最佳组合, 通过载体、助剂的筛选, 采用单因素试验、正交试验等方法制备稳定的 10%乙霉威·腐霉利微粉剂, 并通过药效试验探究其对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果。

## 1 材料与方法

试验于 2016—2018 年在中国农业科学院蔬菜花卉研究所完成。

### 1.1 供试材料

菌株: 供试多主棒孢菌株 HG09112606 (对多菌灵高抗, 对乙霉威敏感)、FQ07091401 (对多菌灵敏感, 对乙霉威高抗)、HG11011509 (对多菌灵、乙霉威双高抗)<sup>[4]</sup>, 保存于中国农业科学院蔬菜花卉研究所菜病综防组 4℃冰箱马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基。

仪器: GYF-100 气流粉碎机(昆山密友粉碎设备有限公司); GHP-9160 隔水式恒温培养箱(上海一恒科技有限公司); GCMS-TQ8040 三重四极杆气相色谱质谱联用仪(岛津有限公司); PL203 分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司); BT-9300Z 激光粒度分析测定仪(丹东市百特仪器有限公司); IKA 研磨机(艾卡广州仪器设备有限公司); XB-K-25 血球计数板(北京普益华科技有限公司); 3FB-03-AE-1 精量电动弥粉机(中农丰茂植保机械有限公司);

3WBD-16 背负式电动喷雾器(青岛至信永成商贸有限公司); 自制超微量叶面喷雾器。

供试药剂: 98.5%腐霉利原药, 江西禾益化工股份有限公司; 95%乙霉威原药, 江苏蓝丰生物化工股份有限公司; 10%乙霉威·腐霉利可湿性粉剂, 中国农业科学院蔬菜花卉研究所自主研制; 43%氟菌·肟菌酯(fluopyram-trifloxystrobin)悬浮剂, 拜耳股份公司; 35%苯甲·咪唑啉酮(difenoconazole-prochloraz)水乳剂, 山东省青岛瀚生生物科技股份有限公司。

供试载体及助剂: 硅藻土、白炭黑、膨润土、煅烧高岭土、凹凸棒土、滑石粉, 均由河北石家庄灵寿县天昊矿产品加工厂提供; 萘磺酸钠盐甲醛缩合物(formaldehyde condensates of sodium naphthalene sulfonate salt, NNO)、萘磺酸盐类(naphthalene sulfonate, D10)、聚羧酸盐类(carboxylates, T36)等分散剂均由南京捷润科技有限公司提供; 烷基萘磺酸盐(alkyl naphthalene sulfonate, Morwet EFW)、木质素磺酸盐(lignosulfonate, DM02)、十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate, K12)等表面活性剂均由南京捷润科技有限公司提供; 聚氧乙烯烷基醚(polyoxyethylene alkyl ether)、聚氧乙烯芳基硫酸盐(polyoxyethylene aryl sulfate)、聚氧乙烯脂肪酸酯(polyoxyethylene fatty acid ester)等稳定剂均由南京捷润科技有限公司提供。

供试植物及培养基: 黄瓜品种为易感病的中农 6 号, 由中国农业科学院蔬菜花卉研究所提供, 待黄瓜植株长至 2—4 片真叶时, 供室内盆栽试验测定。待黄瓜植株长至 10 片真叶时, 供田间试验测定。PDA 培养基: 200 g 马铃薯、20 g 葡萄糖、20 g 琼脂、1 L 蒸馏水。

### 1.2 方法

1.2.1 菌丝生长速率法筛选最佳药剂组合 采用菌丝生长速率法筛选最佳药剂组合<sup>[14]</sup>。将乙霉威和腐霉利原药用少量丙酮溶剂溶解后, 用无菌水分别配制成质量浓度为  $1 \times 10^4 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的母液, 按不同质量比(9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9)混合, 得到不同配比的混合液。再用无菌水将各单剂及混剂稀释成质量浓度为 1 000、100、10、1、0.1、0.01  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的药液, 分别与 PDA 培养基按体积比 1:9 的比例混合, 制成含药量分别为 100、10、1、0.1、0.01、0.001  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  的 PDA 平板。在无菌条件下, 用打孔器将预培养 5 d 的多主棒孢菌株沿菌落边缘打取直径 5 mm 的菌饼, 菌丝面向下接种到

含系列浓度的乙霉威·腐霉利 PDA 平板中央。每个处理 4 次重复,并设空白和溶剂对照。28℃ 黑暗培养 5 d 后,测量菌落直径,建立回归方程,并计算  $EC_{50}$ 。根据 Wadley 公式<sup>[15]</sup>计算增效系数 (SR),确定最佳混配比例。 $EC_{50}(th) = (a+b) / [a/EC_{50}(A) + b/EC_{50}(B)]$ ;  $SR = EC_{50}(th) / EC_{50}(ob)$ 。式中, A、B 为单剂, a、b 为相应单剂在混剂中的比例, ob 为实际观察值, th 为理论值。  $SR > 1.5$  为增效作用;  $0.5 \leq SR \leq 1.5$  为相加作用;  $SR < 0.5$  为拮抗作用。

**1.2.2 单因素试验筛选载体与助剂** 载体筛选体系为 10 g。分别称取 90% 的硅藻土、白炭黑、膨润土、煅烧高岭土等载体 (9 g), 每种载体中加入 10% (1 g) 乙霉威·腐霉利原药 (按照筛选出的最佳混配比例称取) 经研磨机混合均匀, 即制得有效成分为 10% 的乙霉威·腐霉利制剂。助剂筛选体系为 10 g。分别称取 90% 的萘磺酸钠盐甲醛缩合物 (NNO)、萘磺酸盐类 (D10)、聚羧酸盐类 (T36) 分散剂 (9 g), 每种分散剂中加入 10% (1 g) 的乙霉威·腐霉利原药经研磨机混合均匀, 即制得不同制剂; 分别称取 90% 的烷基萘磺酸盐 (Morwet EFW)、木质素磺酸盐 (DM02)、十二烷基硫酸钠 (K12) 表面活性剂 (9 g), 每种表面活性剂中加入 10% (1 g) 的乙霉威·腐霉利原药经研磨机混合均匀, 即制得不同制剂; 分别称取 90% 的聚氧乙烯烷基醚、聚氧乙烯芳基硫酸盐、聚氧乙烯脂肪酯稳定剂 (9 g), 每种稳定剂中加入 10% (1 g) 的乙霉威·腐霉利原药经研磨机混合均匀, 即制得不同制剂。每个处理重复 4 次。比较各个不同制剂的分散性、浮游性、稳定性、吸附性<sup>[16]</sup>等因素, 确定最优载体和助剂。

**1.2.3 正交试验确定载体、助剂的最佳配比** 利用初筛的载体和助剂进行正交试验<sup>[17]</sup>, 分别检测分散指数、浮游性指数、坡度角确定其各组分的最优配比含量。设计采用 4 因素 3 水平正交试验 $[L_9(3^4)]$ , 即载体含量分别为 15%、20%、25%; 分散剂含量分别为 2%、3%、4%; 表面活性剂含量分别为 2%、3%、4%; 稳定剂含量分别为 0.5%、1%、1.5%。

**1.2.4 样品的加工与性能指标的测定**<sup>[18]</sup> 按照本研究的筛选结果, 称取一定量的有效成分为 95% 乙霉威原药和 98.5% 腐霉利原药、载体、分散剂、表面活性剂、稳定剂加入研磨机中研磨 1 min, 再经气流粉碎机超微粉碎制成微粉剂。

样品加工后热贮稳定性测定 (GB/T 19136—2003): 将 5 g 10% 乙霉威·腐霉利微粉剂加入到洁净

的安瓿瓶中, 用酒精喷灯进行封口, 封口后分别称重。称重后将封好的安瓿瓶置于 GHP-9160 隔水式恒温培养箱中,  $(54 \pm 2)^\circ\text{C}$  贮存, 14 d 后取出安瓿瓶, 称重测量。质量未发生变化的试样, 于 24 h 内对其进行有效成分含量测定, 计算分解率, 试验重复 4 次。

有效成分含量测定: 准确称取有效成分为 0.1 g 乙霉威、腐霉利标准品 (乙霉威、腐霉利按照筛选出的最佳混配比例混配), 于 50 mL 离心管中, 用丙酮溶剂定容至 20 mL, 用蒸馏水稀释浓度至  $50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 待测; 分别准确称取 10% 乙霉威·腐霉利微粉剂热贮前及热贮后试样 1 g, 于 50 mL 离心管中, 用丙酮溶剂定容至 20 mL, 用蒸馏水稀释浓度至  $50 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ , 待测。分解率 = (有效成分原始含量 - 热贮后有效成分含量) / 有效成分原始含量  $\times 100\%$ 。气质联用色谱仪测定条件为柱箱温度:  $40.0^\circ\text{C}$ ; 进样口温度:  $65.0^\circ\text{C}$ ; 进样方式: 分流; 载气: He; 总流量:  $26.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 柱流量:  $1.0 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ ; 线速度:  $36.1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 离子源温度:  $250.0^\circ\text{C}$ ; 接口温度:  $280.0^\circ\text{C}$ ; 溶剂延迟时间 6.0 min。

分散指数测定: 准确称取定量混合均匀的样品后, 采用干筛法过筛, 铺平到分散器底部, 接通电源并开始计时, 30 s 后停止, 称取分散后残余粉体质量, 分散指数 = (样品量 - 残余样品量) / 样品量  $\times 100\%$ , 试验重复 5 次。

浮游性指数测定: 将混合均匀的样品在散粉箱内散粉 30 s 后, 再将浮游在箱内的粗微粒子捕集到盛水的集尘管内, 在波长 610 nm 处测定透光率, 浮游性指数 =  $100 - \text{透光率}$ 。

流动性测定: 采用坡度角测定方法, 将试料通过筛网孔径约 0.5 mm、直径 30 mm 的小筛, 加入下口内径 5 mm 的漏斗中, 漏斗下口对准直径 2 cm 的小圆片, 使试样均匀加到圆片上堆成小圆锥体, 当锥体高度不再增加时, 停止加料, 由用作外罩的玻璃管壁上的标尺观察锥体的高度, 重复测定 5 次, 求平均值。计算公式:  $\tan \theta = H/1.0$ 。式中, H 为锥体高度 (cm)。

含水率测定: 按照 GB/T 1600—1989 农药水分的测定方法中的共沸蒸馏法进行。

粒径测定: 按照 GB/T 16150—1995 农药粉剂、可湿性粉剂细度测定方法中的干筛法进行。

**1.2.5 10% 乙霉威·腐霉利微粉剂室内盆栽药效试验** 在中国农业科学院蔬菜花卉研究所玻璃温室进行盆栽

防治效果测定试验。共设 9 个药剂处理: 10%乙霉威·腐霉利微粉剂喷粉处理, 施药剂量分别为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup>; 10%乙霉威·腐霉利微粉剂喷雾处理, 施药剂量分别为 100 g a.i./hm<sup>2</sup> (0.0035 g a.i./株)、150 g a.i./hm<sup>2</sup> (0.005 g a.i./株); 10%乙霉威·腐霉利可湿性粉剂喷雾处理, 施药剂量分别为 100 g a.i./hm<sup>2</sup> (0.0035 g a.i./株)、150 g a.i./hm<sup>2</sup> (0.005 g a.i./株); 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂喷雾处理, 施药剂量为 300 g a.i./hm<sup>2</sup> (0.01 g a.i./株); 43%氟菌·肟菌酯悬浮剂喷雾处理, 施药剂量为 90 g a.i./hm<sup>2</sup> (0.003 g a.i./株); 空白对照喷施清水。喷粉处理使用精量电动弥粉机<sup>[19]</sup>, 喷雾处理使用微量喷雾器。每个处理 4 次重复, 每个重复 20 株黄瓜苗。在施药前, 将喷粉处理的黄瓜苗放置到一个密闭的玻璃温室中以防止微粉飘散, 喷粉结束 4 h 后, 将喷粉处理的黄瓜苗与喷雾处理的黄瓜苗放置一起, 以保证整个环境条件一致。

将多主棒孢菌株 HG11011509 在 PDA 培养基上培养 15 d, 用毛刷将孢子刷下, 用血球计数板调配, 获得  $1 \times 10^5$  孢子/mL 悬浮液。待盆栽黄瓜苗长至 2—4 片真叶时采用叶面喷雾的方式接种多主棒孢孢子悬浮液 (保证黄瓜植株所有叶片上孢子悬浮液分布均匀), 接菌后将黄瓜苗放在相对湿度为 90%, 温度 28℃ 保湿柜中保湿培养 24 h, 接种 24 h 后进行药剂处理, 同时转入正常育苗温室培养, 培养 5 d 后空白对照充分发病, 然后进行病情指数调查并计算防治效果。每个处理调查 80 株黄瓜苗, 每株黄瓜苗调查全部叶片。黄瓜棒孢叶斑病病情指数调查按如下标准<sup>[20]</sup>: 0 级, 无病斑; 1 级, 病斑面积占整个叶面积 5% 以下; 3 级, 病斑面积 5%—25%; 5 级, 病斑面积 26%—50%; 7 级, 病斑面积 51%—75%; 9 级, 病斑面积 75% 以上。病情指数 =  $\sum$  (各级病叶数 × 相对级数值) / (调查总叶数 × 9) × 100; 防治效果 = (CK - PT) / CK × 100%。式中, CK 为空白对照区施药后病情指数; PT 为药剂处理区施药后病情指数。

**1.2.6 10%乙霉威·腐霉利微粉剂田间药效试验** 参考《农药田间药效试验准则》进行田间药效试验, 于 2018 年 12 月在山东寿光日光温室进行。黄瓜棒孢叶斑病为人工接种: 待黄瓜植株长至 10 片真叶时, 采用叶面喷雾的方式接种  $1 \times 10^5$  孢子/mL 的多主棒孢菌株 HG11011509 孢子悬浮液 (保证黄瓜植株所有叶片上孢子悬浮液分布均匀), 24 h 后再进行药剂处理。试验共设 9 个药剂处理: 10%乙霉威·腐霉利微粉剂喷粉处理, 施药剂量分别为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup>; 10%乙霉

威·腐霉利微粉剂喷雾处理, 施药剂量分别为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup> (用水量 750 L·hm<sup>-2</sup>); 10%乙霉威·腐霉利可湿性粉剂喷雾处理, 施药剂量分别为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup> (用水量 750 L·hm<sup>-2</sup>); 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂喷雾处理, 施药剂量为 300 g a.i./hm<sup>2</sup> (用水量 750 L·hm<sup>-2</sup>); 43%氟菌·肟菌酯悬浮剂喷雾处理, 施药剂量为 90 g a.i./hm<sup>2</sup> (用水量 750 L·hm<sup>-2</sup>); 空白对照喷施清水。喷粉处理使用精量电动弥粉机, 喷雾处理使用背负式电动喷雾器。采用随机区组排列, 4 次重复, 共 36 个小区, 小区面积为 29 m<sup>2</sup>, 用塑料薄膜纵向分割温室大棚形成小区, 以保证每个棚室的密封效果。每隔 7 d 施药一次, 共施药 3 次, 于第 3 次施药后 7 d 调查病情指数并计算防治效果, 每小区对角线 5 点取样调查, 每点调查 2 株, 每株调查全部叶片。病情指数调查及防治效果计算同 1.2.5。

## 2 结果

### 2.1 不同混配比例对多主棒孢的毒力增效

采用菌丝生长速率法测定乙霉威与腐霉利以不同比例混配对多主棒孢的联合毒力, 结果表明乙霉威与腐霉利大多数比例混合物对菌株 HG09112606、FQ07091401 具有增效作用, 其中当乙霉威与腐霉利以 1:1 混配时增效作用最明显, 增效系数分别为 3.19 和 2.53; 当乙霉威与腐霉利以 1:1 和 1:4 混配时对菌株 HG11011509 有增效作用, 增效系数分别为 1.68 和 1.98。综合考虑 3 个供试菌株的增效程度及用药成本, 选定 1:1 作为乙霉威与腐霉利最佳混配比例进行制剂及田间药效研究 (图 1)。

### 2.2 不同载体、助剂的筛选

**2.2.1 载体的筛选** 基于单因素试验测定 6 种不同载体对 10%乙霉威·腐霉利制剂的影响。白炭黑分散指数大, 坡度角小, 分别为 91.16%, 67°, 但浮游性指数较小, 为 60.67; 硅藻土分散指数较小, 为 85.85%, 但浮游性指数大, 为 78.11, 坡度角为 69°。综合考虑各制剂的分散指数、浮游性指数、坡度角等因素, 确定最优载体为白炭黑和硅藻土 (表 1)。

**2.2.2 助剂的筛选** 3 种常见的分散剂对 10%乙霉威·腐霉利制剂有不同程度的影响, 其中萘磺酸钠盐甲醛缩合物 (NNO) 分散指数最大, 分散性最强, 与其他两种分散剂具有显著性差异 ( $P < 0.05$ ); 3 种表面活性剂对 10%乙霉威·腐霉利制剂同样具有不同程度的影响, 其中十二烷基硫酸钠 (K12) 吸附时间最短, 吸附能力最强, 与其他两种表面活性剂具有显著性差

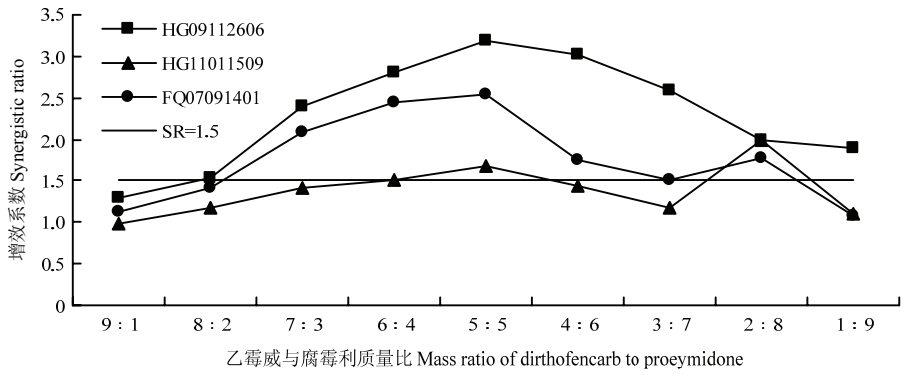


图 1 乙霉威和腐霉利混配对多主棒孢的毒力增效作用

Fig. 1 Synergistic interactions of diethofencarb-procymidone mixtures against mycelial growth of *C. cassiicola*

表 1 不同载体对 10%乙霉威·腐霉利混配制剂的影响

Table 1 The effect of different carriers on the mixture of 10% diethofencarb-procymidone

| 处理 Treatment     | 分散指数 Dispersion index (%) | 浮游性指数 Planktonic index | 坡度角 Slope angle (°) |
|------------------|---------------------------|------------------------|---------------------|
| 凹凸棒土 Attapulgit  | 85.13±0.04b               | 68.55±0.78b            | 76.00               |
| 硅藻土 Diatomite    | 85.85±0.05b               | 78.11±2.07a            | 69.00               |
| 白炭黑 Carbon-white | 91.16±0.04a               | 60.67±0.88c            | 67.00               |
| 煅烧高岭土 Kaolin     | 90.23±0.04a               | 61.88±0.98c            | 71.00               |
| 膨润土 Bentonite    | 90.76±0.05a               | 71.88±0.98b            | 73.00               |
| 滑石粉 Talc         | 87.08±0.06b               | 53.22±1.63d            | 69.00               |

表中数据为平均数±标准误；根据 Duncan's 最小显著性差异测定，同列数值后不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。表 2、表 5、表 6 同

Data in the table are mean±SE; According to a Duncan's least-significant difference, different lowercases after data in the same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ). The same as Table 2, Table 5, Table 6

异 ( $P<0.05$ )；常见的 3 种稳定剂对 10%乙霉威·腐霉利制剂有不同程度的影响，其中聚氧乙烯烷基醚分解率最小，稳定性最强，与其他两种稳定剂具有显著性差异 ( $P<0.05$ )。因此，分散剂萘磺酸钠盐甲醛缩合物 (NNO)、表面活性剂十二烷基硫酸钠 (K12) 及稳定剂聚氧乙烯烷基醚可作为配方中的有效组分进行最佳配比的优化 (图 2)。

2.3 载体、助剂最佳配比的确定

综合考虑白炭黑和硅藻土两种载体的分散性、浮游性、流动性等因素，选取载体白炭黑进行配比的优化，载体硅藻土补足至 100%。不同组成成分对于制剂的分散性、浮游性、流动性有不同程度的影响。其中对 10%乙霉威·腐霉利制剂分散指数影响顺序为白炭黑>分散剂>表面活性剂>稳定剂；对 10%乙霉威·腐霉利制剂浮游性指数影响顺序为白炭黑>分散剂>表面活性剂>稳定剂；对 10%乙霉威·腐霉利制剂坡度角影响顺序为白炭黑>稳定剂>分散剂>表面活性剂。粉剂的分散指数大，则粒子间凝聚力

小，易分散；浮游性指数大，粉剂易漂移；坡度角小，粉剂流动性强。因此，将此 3 种因素作为衡量粉剂载体与助剂最佳配比的重要指标。由表 2 可知，分散指数大、浮游性指数大、坡度角小的组分为第 2 组，确定最佳配比为载体白炭黑 15%，分散剂萘磺酸钠盐甲醛缩合物 (NNO) 3%，表面活性剂十二烷基硫酸钠 (K12) 3%，稳定剂聚氧乙烯烷基醚 1%，载体硅藻土补足至 100%。

2.4 样品的加工与性能指标测定

2.4.1 样品的加工 通过载体、助剂的筛选，确定了 10%乙霉威·腐霉利微粉剂最佳配方为乙霉威·腐霉利原药 10%，载体白炭黑 15%，分散剂萘磺酸钠盐甲醛缩合物 (NNO) 3%，表面活性剂十二烷基硫酸钠 (K12) 3%，稳定剂聚氧乙烯烷基醚 1%，载体硅藻土补足至 100%。

2.4.2 热贮稳定性测定 热贮后 10%乙霉威·腐霉利微粉剂没有结块现象。经气质联用色谱仪检测未热贮标样有效成分含量为 9.22%，54℃热贮后有效

成分含量为 8.84%，分解率为 4.12%，符合标准（表 3）。

2.4.3 其他性能指标测定 参照中华人民共和国农药粉剂及凌世海<sup>[18]</sup>农药剂型加工相关检测方法进行测定，结果显示制备的 10%乙霉威·腐霉利微粉剂粒径为 6.18 μm，分散指数 95.18%，浮游性指数 86.26，含水率 1.24%，坡度角 67°，热贮分解率 4.12%，各项检测结果均符合标准（表 4）。

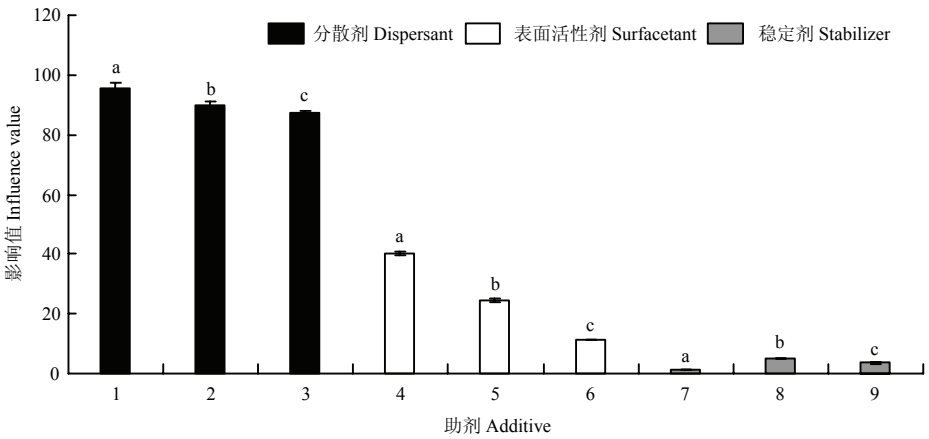
表 2 载体和助剂配比优化的正交试验结果

Table 2 Proportioning optimization result of the carriers and additives in orthogonal test

| 序号<br>Number                 | 因素 Factor         |                       |                         |                       | 分散指数<br>Dispersion<br>index (%) | 浮游性指数<br>Planktonic<br>index | 坡度角<br>Slope<br>angle (°) |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------|
|                              | 载体<br>Carrier (%) | 分散剂<br>Dispersant (%) | 表面活性剂<br>Surfactant (%) | 稳定剂<br>Stabilizer (%) |                                 |                              |                           |
| 1                            | 15.00             | 2.00                  | 2.00                    | 0.50                  | 93.56±0.15b                     | 83.17±0.27a                  | 68.00                     |
| 2                            | 15.00             | 3.00                  | 3.00                    | 1.00                  | 95.18±0.34a                     | 86.26±0.37a                  | 67.00                     |
| 3                            | 15.00             | 4.00                  | 4.00                    | 1.50                  | 92.47±1.23b                     | 83.18±1.16a                  | 67.00                     |
| 4                            | 20.00             | 2.00                  | 3.00                    | 1.50                  | 81.26±1.26d                     | 80.16±0.94b                  | 74.00                     |
| 5                            | 20.00             | 3.00                  | 4.00                    | 0.50                  | 83.39±0.79c                     | 79.45±1.26b                  | 70.00                     |
| 6                            | 20.00             | 4.00                  | 2.00                    | 1.00                  | 80.17±0.87d                     | 78.16±0.36b                  | 76.00                     |
| 7                            | 25.00             | 2.00                  | 4.00                    | 1.00                  | 78.56±0.60e                     | 78.12±0.95b                  | 79.00                     |
| 8                            | 25.00             | 3.00                  | 2.00                    | 1.50                  | 80.17±1.15d                     | 75.36±1.56c                  | 77.00                     |
| 9                            | 25.00             | 4.00                  | 3.00                    | 0.50                  | 75.25±0.42f                     | 75.27±0.18c                  | 75.00                     |
| 分散指数<br>Dispersion<br>index  | K1                | 281.21                | 253.38                  | 253.90                | 252.20                          |                              |                           |
|                              | K2                | 244.82                | 258.74                  | 251.69                | 253.91                          |                              |                           |
|                              | K3                | 233.98                | 247.89                  | 254.42                | 253.90                          |                              |                           |
|                              | k1                | 93.74                 | 84.46                   | 84.63                 | 84.07                           |                              |                           |
|                              | k2                | 81.61                 | 86.25                   | 83.90                 | 84.64                           |                              |                           |
|                              | k3                | 77.99                 | 82.63                   | 84.81                 | 84.63                           |                              |                           |
|                              | 极差 R              | 15.74                 | 3.62                    | 0.91                  | 0.57                            |                              |                           |
| 浮游性指数<br>Planktonic<br>index | K1                | 252.61                | 241.45                  | 236.69                | 237.89                          |                              |                           |
|                              | K2                | 237.77                | 241.07                  | 241.69                | 242.54                          |                              |                           |
|                              | K3                | 228.75                | 236.61                  | 240.75                | 238.70                          |                              |                           |
|                              | k1                | 84.20                 | 80.48                   | 78.90                 | 79.30                           |                              |                           |
|                              | k2                | 79.26                 | 80.36                   | 80.56                 | 80.85                           |                              |                           |
|                              | k3                | 76.25                 | 78.87                   | 80.25                 | 79.57                           |                              |                           |
|                              | 极差 R              | 7.95                  | 1.61                    | 1.67                  | 1.55                            |                              |                           |
| 坡度角<br>Slope angle           | K1                | 202.00                | 221.00                  | 221.00                | 213.00                          |                              |                           |
|                              | K2                | 220.00                | 214.00                  | 216.00                | 222.00                          |                              |                           |
|                              | K3                | 231.00                | 218.00                  | 216.00                | 218.00                          |                              |                           |
|                              | k1                | 67.33                 | 73.67                   | 73.67                 | 71.00                           |                              |                           |
|                              | k2                | 73.33                 | 71.33                   | 72.00                 | 74.00                           |                              |                           |
|                              | k3                | 77.00                 | 72.67                   | 72.00                 | 72.67                           |                              |                           |
|                              | 极差 R              | 9.67                  | 2.33                    | 1.67                  | 3.00                            |                              |                           |

Ki 表示任一列上水平号为 i 时所对应的试验结果之和。ki=Ki/s, 其中 s 为任一列上各水平出现的次数(文中为 3 次) Ki is the sum of suspensibility values when the level of the corresponding factor is coded by i. ki= Ki/s. s means the replication number of each level in each column (the replication number is three in the article)





1: 萘磺酸钠盐甲醛缩合物 Formaldehyde condensates of sodium naphthalene sulfonate salt (NNO); 2: 萘磺酸盐类 Naphthalene sulfonate (D10); 3: 聚羧酸盐类 Carboxylates (T36); 4: 烷基萘磺酸盐 Alkyl naphthalene sulfonate (Morwet EFW); 5: 木质素磺酸盐 Lignosulfonate (DM02); 6: 十二烷基硫酸钠 Sodium dodecyl sulfate (K12); 7: 聚氧乙烯烷基醚 Polyoxyethylene alkyl ether; 8: 聚氧乙烯芳基硫酸盐 Polyoxyethylene aryl sulfate; 9: 聚氧乙烯脂肪酸酯 Polyoxyethylene fatty acid ester。1—3 影响值为分散指数 The influence value of 1-3 is dispersion index; 4—6 影响值为吸附时间 The influence value of 4-6 is adsorption time; 7—9 影响值为分解率 The influence value of 7-9 is decomposition rate  
根据 Duncan's 最小显著性差异测定, 柱上不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) According to a Duncan's least-significant difference, different lowercases on the bars indicate significant difference ( $P<0.05$ )

图 2 助剂的筛选

Fig. 2 Screening of additives

表 3 10%乙霉威·腐霉利微粉剂热贮稳定性

Table 3 Determination of the thermal storage stability of 10% diethofencarb-procymidone micropowder

| 样品<br>Sample  | 名称<br>Name        | 保留时间<br>Keep time (min) | 浓度<br>Concentration<br>( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) | 峰面积<br>Peak area | 热贮分解率<br>Thermal storage<br>decomposition rate (%) |
|---|-------------------|-------------------------|---|------------------|--|
| 标样 98.5%腐霉利和 95%乙霉威<br>Standard 98.5% procymidone·<br>95% diethofencarb                   | 乙霉威 Diethofencarb | 18.07                   | 50.00   | 57666.00         | —  |
|   | 腐霉利 Procymidone   | 19.14                   | 50.00   | 36991.00         |  |
| 热贮前 10%乙霉威·腐霉利微粉剂<br>Before thermal storage 10% diethofencarb·<br>procymidone micropowder | 乙霉威 Diethofencarb | 18.07                   | 45.38   | 52167.00         | —  |
|   | 腐霉利 Procymidone   | 19.14                   | 46.76   | 127708.00        |  |
| 热贮后 10%乙霉威·腐霉利微粉剂<br>After thermal storage 10% diethofencarb·<br>procymidone micropowder  | 乙霉威 Diethofencarb | 18.07                   | 42.10   | 49756.00         | 4.12   |
|   | 腐霉利 Procymidone   | 19.14                   | 46.28   | 129915.00        |  |

表 4 10%乙霉威·腐霉利微粉剂主要性能指标

Table 4 Main performance indexes of 10% diethofencarb-procymidone micropowder

| 性能指标<br>Performance index      | 微粉剂标准<br>Micropowder<br>standard | 测定结果<br>Determination<br>result |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 有效成分 Active ingredient (%)     | —                                | 10.00                           |
| 细度 Fineness ( $\mu\text{m}$ )  | $\leq 10.00$                     | 6.18                            |
| 含水率 Water content (%)          | $< 1.50$                         | 1.24                            |
| 分散指数 Dispersion index (%)      | $> 20.00$                        | 95.18                           |
| 浮游性指数 Planktonic index         | $> 85.00$                        | 86.26                           |
| 坡度角 Slope angle ( $^{\circ}$ ) | 65.00-75.00                      | 67.00                           |
| 分解率 Decomposition rate (%)     | $< 5.00$                         | 4.12                            |

2.5 10%乙霉威·腐霉利微粉剂室内盆栽试验防治效果

接种 2 d 后清水对照开始发病, 5 d 后病情指数为 63.87。10%乙霉威·腐霉利微粉剂在施药剂量为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷粉、喷雾对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果分别为 89.82%和 90.99%; 80.27%和 87.95%。10%乙霉威·腐霉利可湿性粉剂在施药剂量为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷雾对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果分别为 78.58%和 84.83%。10%乙霉威·腐霉利微粉剂在施药剂量为 100 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷粉防治效果显著高于对照药剂 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂、43%氟菌·呋菌酯悬浮剂在推荐用量时喷雾的防治效果 (表 5)。



表 5 10%乙霉威·腐霉利微粉剂对黄瓜棒孢叶斑病的盆栽防治效果

Table 5 Control efficacy of 10% diethofencarb·procymidone micropowder on cucumber leaf spot disease in potted trials

| 处理                               | 使用剂量                             | 施药方式                | 病情指数          | 防治效果                 |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------|----------------------|
| Treatment                        | Dosage (g a.i./hm <sup>2</sup> ) | Processing method   | Disease index | Control efficacy (%) |
| 10%乙霉威·腐霉利微粉剂                    | 100                              | 喷粉 Powder injection | 6.50          | 89.82±0.73a          |
| 10% diethofencarb·procymidone DL | 150                              |                     | 5.76          | 90.99±0.32a          |
| 10%乙霉威·腐霉利微粉剂                    | 100                              | 喷雾 Spray            | 12.60         | 80.27±0.29c          |
| 10% diethofencarb·procymidone DL | 150                              |                     | 7.7           | 87.95±0.56b          |
| 10%乙霉威·腐霉利可湿性粉剂                  | 100                              | 喷雾 Spray            | 13.68         | 78.58±1.12c          |
| 10% diethofencarb·procymidone WP | 150                              |                     | 9.69          | 84.83±1.72d          |
| 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂                     | 300                              | 喷雾 Spray            | 8.56          | 86.60±1.15b          |
| 35% difenoconazole·prochloraz EW |                                  |                     |               |                      |
| 43%氟菌·肟菌酯悬浮剂                     | 90                               | 喷雾 Spray            | 9.33          | 85.39±1.46d          |
| 43% fluopyram·trifloxystrobin SC |                                  |                     |               |                      |
| CK                               | —                                | —                   | 63.87         | —                    |

2.6 10%乙霉威·腐霉利微粉剂田间药效

田间试验结果表明，10%乙霉威·腐霉利微粉剂喷粉施药对黄瓜棒孢叶斑病有很好的防治效果，用量为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷粉防治效果分别为 84.39%、90.74%。10%乙霉威·腐霉利微粉剂、可湿性粉剂在用量为 100、150 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷雾防治

效果分别为 76.80%和 83.11%；69.42%和 82.24%。10%乙霉威·腐霉利微粉剂在用量为 100 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷粉防治效果与 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂在用量为 300 g a.i./hm<sup>2</sup>、43%氟菌·肟菌酯悬浮剂在用量为 90 g a.i./hm<sup>2</sup> 时的喷雾防治效果无显著性差异（表 6）。

表 6 10%乙霉威·腐霉利微粉剂对黄瓜棒孢叶斑病的田间防治效果

Table 6 Control efficacy of 10% diethofencarb·procymidone micropowder on cucumber leaf spot disease in fields

| 处理                               | 使用剂量                             | 施药方式                | 病情指数          | 防治效果                 |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------|----------------------|
| Treatment                        | Dosage (g a.i./hm <sup>2</sup> ) | Processing method   | Disease index | Control efficacy (%) |
| 10%乙霉威·腐霉利微粉剂                    | 100                              | 喷粉 Powder injection | 6.69          | 84.39±0.98b          |
| 10% diethofencarb·procymidone DL | 150                              |                     | 3.97          | 90.74±0.39a          |
| 10%乙霉威·腐霉利微粉剂                    | 100                              | 喷雾 Spray            | 9.94          | 76.80±1.52f          |
| 10% diethofencarb·procymidone DL | 150                              |                     | 7.07          | 83.11±0.95c          |
| 10%乙霉威·腐霉利可湿性粉剂                  | 100                              | 喷雾 Spray            | 13.10         | 69.42±0.99e          |
| 10% diethofencarb·procymidone WP | 150                              |                     | 7.61          | 82.24±1.30c          |
| 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂                     | 300                              | 喷雾 Spray            | 6.13          | 85.69±0.60b          |
| 35% difenoconazole·prochloraz EW |                                  |                     |               |                      |
| 43%氟菌·肟菌酯悬浮剂                     | 90                               | 喷雾 Spray            | 6.65          | 84.48±0.41b          |
| 43% fluopyram·trifloxystrobin SC |                                  |                     |               |                      |
| CK                               | —                                | —                   | 42.85         | —                    |

3 讨论

黄瓜棒孢叶斑病主要依靠化学药剂进行防治<sup>[21]</sup>。国内外已报道的对多主棒孢引起的病害有效的化学药剂主要有琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂（SDHIs，啉酰菌胺、氟吡菌酰胺、氟唑菌酰胺）、甾醇生物合成

抑制剂类杀菌剂（SBIs，如咪鲜胺、苯醚甲环唑和戊唑醇）、苯醌外部抑制剂（QoIs，嘧菌酯、吡唑醚菌酯和噁唑菌酮）、 $\beta$ -微管蛋白抑制剂类杀菌剂（MBCs，多菌灵、甲基硫菌灵、苯菌灵等）、二甲酰亚胺类杀菌剂（DCFs，异菌脲、腐霉利）以及氨基甲酸酯类杀菌剂（霜霉威、乙霉威等）<sup>[22]</sup>。上述药剂用于防治黄

瓜棒孢叶斑病以来,关于多主棒孢对化学药剂的抗药性问题不断出现。因此,生产上迫切需要利用现有杀菌剂筛选具有增效作用的组合。邢光耀<sup>[23]</sup>研究表明,四氟醚唑和咪鲜胺混配对多主棒孢的毒力具有增效作用,对黄瓜棒孢叶斑病具有明显的防治效果;郑雪松等<sup>[24]</sup>将苯醚甲环唑和嘧菌酯混配药剂在黄瓜棒孢叶斑病发病初期喷施,明显抑制了多主棒孢的蔓延和流行。本研究选用两种不同作用机理的化学农药杀菌剂乙霉威、腐霉利混配,测定了对多菌灵和乙霉威双高抗菌株、多菌灵高抗乙霉威敏感菌株、多菌灵敏感乙霉威高抗菌株的室内毒力,并采用菌丝生长速率法和 Wadley 法相结合筛选最佳配比,最终获得当乙霉威与腐霉利最佳配比为 1:1 时,具有明显的增效作用。推测这种增效可能与药剂作用机理有关,腐霉利的作用机制主要是干扰渗透压信号转导途径中组氨酸激酶和 MAP 激酶,这两种酶在细胞生长分裂信号转导途径中起着关键性作用,乙霉威主要抑制纺锤体的形成,两种药剂共同作用促进了抑制细胞或菌丝的生长分裂,从而表现出增效作用。ISHII<sup>[25]</sup>研究报道,在多种致病菌中苯并咪唑类杀菌剂与乙霉威具有负交互抗药性。因此选用乙霉威作为复配的一种成分可以间接降低苯并咪唑类杀菌剂田间抗性的产生。

近年来,复配药剂在农药中所占的比例迅速增加<sup>[26-27]</sup>。在未来的农业生产中,不仅需要更多的药剂复配,还需要解决复配药剂应用中的剂型问题。将复配药剂加工成施药量小、利用率高的剂型是解决复配药剂应用的一个重要问题<sup>[15]</sup>。载体在微粉剂中占较大比例,因此载体对微粉剂的影响较大。在农药剂型生产中,通常采用单一的载体以减低实际加工的复杂化。但是在本研究中单一的载体并不能取得良好的效果,所以采用复合载体白炭黑和硅藻土,结果表明复合载体可以增加微粉剂的分散性、流动性。刘振华等<sup>[28]</sup>研究表明,采用复合载体能够改变可湿性粉剂的物理性能,增强其制剂的润湿性、悬浮性。选择适合的助剂可以提高防治效果,秦宝福<sup>[11]</sup>筛选出萘磺酸钠盐甲醛缩合物(NNO)为苦皮藤素微粉剂的最佳助剂。本研究采用单因素试验筛选最优载体和助剂,方便快捷,成功率高;通过正交试验,确定载体助剂的最优配比,科学可信,全面高效。试验发现萘磺酸钠盐甲醛缩合物可以提高微粉剂的分散性,既能保证微粉剂在贮存时不聚结,又能使其在施药时均匀喷出,对病害的防治效果好;通过增加表面活性剂,可提高其抗静电能力。试验中遇到的关键性问题为热贮有效成分的降解

问题,采用添加稳定剂来调节,很大程度上减小了药剂有效成分的分解率,增强稳定性。

微粉剂在施药时不需要兑水,因此不会增加棚室湿度<sup>[29-30]</sup>,操作方便,施药过程中无高温引起的农药损失,且药剂喷出后能在棚室内均匀弥散并附着于植株表面,持效期长,减少了用药量,提高了农药有效利用率,增强了其对病害的防治效果<sup>[31]</sup>。在盆栽试验中,本试验所研制的 10%乙霉威·腐霉利微粉剂在用药量为 100 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷粉对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果为 89.82%,显著高于对照药剂 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂、43%氟菌·肟菌酯悬浮剂在推荐用量时喷雾的防治效果;在田间试验中,10%乙霉威·腐霉利微粉剂在用量为 100 g a.i./hm<sup>2</sup> 时喷粉对黄瓜棒孢叶斑病的防治效果为 84.39%,与 35%苯甲·咪鲜胺水乳剂在用量为 300 g a.i./hm<sup>2</sup>、43%氟菌·肟菌酯悬浮剂在用量为 90 g a.i./hm<sup>2</sup> 时的喷雾防治效果无显著差异。病害发生之前或之初,喷粉施用 10%乙霉威·腐霉利微粉剂,在用药量减少 33.3% 的情况下也能够抑制孢子萌发及病斑的扩展,对黄瓜新生叶片具有良好的保护作用。

## 4 结 论

乙霉威和腐霉利混配使用对多主棒孢具有明显的毒力增效作用,可供研制防治黄瓜棒孢叶斑病的新型混剂。按选定配方加工的 10%乙霉威·腐霉利微粉剂各项指标符合标准,且在用药量小、施药不需兑水、不增加棚室湿度的条件下对田间黄瓜棒孢叶斑病的防治效果较好,实用性强。

## References

- [1] 禾丽菲,李晓旭,朱佳美,慕卫,刘峰. 不同杀菌剂对黄瓜靶斑病菌的毒力作用特性比较. 农药学报, 2018, 20(1): 25-32.  
HE L F, LI X X, ZHU J M, MU W, LIU F. Comparison of toxicity properties of different types of fungicides against *Corynespora cassiicola* on cucumber. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2018, 20(1): 25-32. (in Chinese)
- [2] 谢学文,张自心,武军,石延霞,柴阿丽,李宝聚. 黄瓜棒孢叶斑病原菌 RFP 标记转化株的构建. 中国蔬菜, 2018(3): 45-49.  
XIE X W, ZHANG Z X, WU J, SHI Y X, CHAI A L, LI B J. Construction of RFP transformation as a marker in *Corynespora cassiicola* from cucumber. *China Vegetables*, 2018(3): 45-49. (in Chinese)
- [3] 詹家绥,吴娥娇,刘西莉,陈凤平. 植物病原真菌对几类重要单位

- 点杀菌剂的抗性分子机制. 中国农业科学, 2014, 47(17): 3392-3404.
- ZHAN J S, WU E J, LIU X L, CHEN F P. Molecular basis of resistance of phytopathogenic fungi to several site-specific fungicides. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(17): 3392-3404. (in Chinese)
- [4] 黄大野. 基于微管蛋白靶标的几种蔬菜主要病原真菌耐药性与抗性机理的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2012.
- HUANG D Y. Tolerance and resistance mechanism of several main pathogenic fungi of vegetable base on tubulin[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [5] ISHII H, YANO K, DATE H, FURUTA A, SAGEHASHI Y, YAMAGUCHI T, SUGIYAMA T, NISHIMURA K, HASAMA W. Molecular characterization and diagnosis of QoI resistance in cucumber and eggplant fungal pathogens. *Phytopathology*, 2007, 97(11): 1458-1466.
- [6] 小林義明, 蒋忠锦. 农药新型—“DL 粉剂”和“FD 粉剂”. 精细化工中间体, 1983(4): 52-55.
- XIAOLIN X M, JIANG Z J. New pesticides-‘DL Powder’ and ‘FD Powder’. *Fine Chemical Intermediates*, 1983(4): 52-55. (in Chinese)
- [7] 王美琴, 刘慧平, 韩巨才, 高俊明. 番茄叶霉病菌对多菌灵、乙霉威及代森锰锌抗性检测. 农药学报, 2003, 5(4): 30-36.
- WANG M Q, LIU H P, HAN J C, GAO J M. Detecting the resistance of *Fulvia fulva* to carbendazim, diethofencarb and mancozeb. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2003, 5(4): 30-36. (in Chinese)
- [8] HASAMA W, MORITA S, KATO T. Control of *Corynespora* target leaf spot of cucumber by use of negatively-correlated cross resistance between benzimidazole fungicides and diethofencarb. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*, 1991, 57(3): 319-325.
- [9] 秦天琳, 闫军民. 50%农利灵 WP 防治辣椒灰霉病药效试验. 甘肃农业, 2012(9): 95.
- QIN T L, YAN J M. Experimental study on the efficacy of 50% agri-pharmaceutical WP in the control of pepper gray mold. *Gansu Agriculture*, 2012(9): 95. (in Chinese)
- [10] 湛江华, 姚红燕, 王丽丽, 柴伟纲, 孙梅梅. 宁波设施蔬菜灰霉病菌对 2 种杀菌剂的抗性检测. 长江蔬菜, 2016(4): 82-84.
- CHEN J H, YAO H Y, WANG L L, CHAI W G, SUN M M. Resistance detection of *Botrytis cinerea* to two fungicides on protected vegetables of Ningbo City. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2016(4): 82-84. (in Chinese)
- [11] 秦宝福. 苦皮藤素微粉剂的研制及应用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- QIN B F. Studies on formulation of celangulin flo-dust and its application[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2004. (in Chinese)
- [12] 赵卫松, 鹿秀云, 郭庆港, 王培培, 商俊燕, 年冠臻, 张晓云, 董丽红, 李社增, 马平. 防治番茄灰霉病的枯草芽孢杆菌 BAB-1 粉尘剂研制. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 99-108.
- ZHAO W S, LU X Y, GUO Q G, WANG P P, SHANG J Y, NIAN G Z, ZHANG X Y, DONG L H, LI S Z, MA P. A preparation of *Bacillus subtilis* BAB-1 DPC against tomato gray mold. *Chinese Journal of Biological Control*, 2018, 34(1): 99-108. (in Chinese)
- [13] 李姝江, 方馨玫, 曾艳玲, 樊苏恒, 朱天辉. 解淀粉芽孢杆菌 BA-12 可湿性粉剂研制及对核桃根腐病的防治效果. 中国生物防治学报, 2016, 32(5): 619-626.
- LI S J, FANG X M, ZENG Y L, FAN S H, ZHU T H. Preparation of wettable powder of *Bacillus amyloliquefaciens* BA-12 and its control effect on walnut root rot. *Chinese Journal of Biological Control*, 2016, 32(5): 619-626. (in Chinese)
- [14] ISHII H, HOLLOMON D W. *Fungicide Resistance in Plant Pathogens. Principles and a Guide to Practical Management*. Springer, 2015.
- [15] 张鹏, 王文桥, 黄敬良, 孟润杰, 赵建江, 马志强, 韩秀英, 张小凤. 40%氟菌·唑醚悬浮剂的研制及其对马铃薯晚疫病田间防治效果. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3142-3150.
- ZHANG P, WANG W Q, HUANG Q L, MENG R J, ZHAO J J, MA Z Q, HAN X Y, ZHANG X F. Development of 40% fluopicolide-pyraclostrobin suspension concentrate and its controlling efficacy to potato late blight in the field. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(15): 3142-3150. (in Chinese)
- [16] 马涛, 汤达祯, 张贵才, 葛际江, 蒋平. 表面活性剂在油水界面的吸附行为. 应用化工, 2007, 36(10): 1017-1020.
- MA T, TANG D Z, ZHANG G C, GE J J, JIANG P. Adsorption behavior of surfactant in oil-water interface. *Applied Chemical Industry*, 2007, 36(10): 1017-1020. (in Chinese)
- [17] LIANG R J. Orthogonal test design for optimization of the extraction of polysaccharides from *Phascolosoma esulenta* and evaluation of its immunity activity. *Carbohydrate Polymers*, 2008, 73(4): 558-563.
- [18] 凌世海. 农药剂型加工——固体制剂. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- LING S H. *Pesticide Formulation—Solid Formulations*. 3rd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. (in Chinese)
- [19] 揣红运, 谢学文, 石延霞, 柴阿丽, 李宝聚. 精量电动弥粉机应用技术. 农业工程技术, 2017, 37(31): 21-23, 28.
- CHUAI H Y, XIE X W, SHI Y X, CHAI A L, LI B J. Application technology of precision electric pulverized machine. *Agricultural Engineering Technology*, 2017, 37(31): 21-23, 28. (in Chinese)

- [20] 阚琳娜, 李宝聚, 纪明山, 张宗俭, 石延霞. 黄瓜褐斑病防治药剂的活体筛选. 中国蔬菜, 2007(4): 22-24.
- KAN L N, LI B J, JI M S, ZHANG Z J, SHI Y X. *In vivo* studies on screening effective fungicides against *Corynespora cassicola*. *China Vegetables*, 2007(4): 22-24. (in Chinese)
- [21] HASAMA W. Occurrence and characteristics of resistant strains of *Corynespora melonis* against benzimidazole compounds. *Annals of the Phytopathological Society of Japan*, 1991, 57(3): 312-318.
- [22] FURUKAWA T, USHIYAMA K, KISHI K. *Corynespora* leaf spot of scarlet sage caused by *Corynespora cassicola*. *Journal of General Plant Pathology*, 2008, 74(2): 117-119.
- [23] 邢光耀. 几种药剂混配对黄瓜靶斑病的防治试验. 长江蔬菜, 2013(8): 50-51.
- XING G Y. Control efficacy of several mixed fungicides on cucumber target leaf spot. *Changjiang Vegetables*, 2013(8): 50-51. (in Chinese)
- [24] 郑雪松, 张潜坤, 陈宇, 茹李军, 张晓波, 丑靖宇, 王文桥, 李淼. 唑菌酯及其混剂防治黄瓜靶斑病室内及田间药效试验. 农药, 2015, 54(5): 378-380.
- ZHENG X S, ZHANG Q K, CHEN Y, RU L J, ZHANG X B, CHOU J Y, WANG W Q, LI M. Lab and field efficacy of mixtures containing pyraoxystrobin against *Corynespora cassicola*. *Agrochemicals*, 2015, 54(5): 378-380. (in Chinese)
- [25] ISHII H. QoI fungicide resistance: current status and the problems associated with DNA-based monitoring//GISI U. *Recent Developments in Management of Plant Diseases*. Springer Science+Business Media, 2010: 37-45.
- [26] 孟润杰, 王文桥, 吴杰, 韩秀英, 周大伟, 宁昭玉. 噻呋酰胺与啮菌酯混配对马铃薯黑痣病菌增效作用及其田间防效. 植物保护学报, 2018, 45(2): 367-372.
- MENG R J, WANG W Q, WU J, HAN X Y, ZHOU D W, NING Z Y. Synergistic interaction and field control effect of mixtures of thifluzamide with azoxystrobin against *Rhizoctonia solani*. *Journal of Plant Protection*, 2018, 45(2): 367-372. (in Chinese)
- [27] 王晓坤, 郭贝贝, 高杨杨, 慕卫, 刘峰. 六种三唑类杀菌剂对番茄叶霉病菌的毒力及其安全性和田间防效评价. 植物保护学报, 2017, 44(4): 671-678.
- WANG X K, GUO B B, GAO Y Y, MU W, LIU F. The toxicity of six triazole fungicides to *Cladosporium fulvum* and their safety and field efficacy in the control of tomato leaf mold. *Journal of Plant Protection*, 2017, 44(4): 671-678. (in Chinese)
- [28] 刘振华, 张林, 罗远婵, 张道敬, 李元广. 基于极端顶点混料试验设计的多粘类芽孢杆菌可湿性粉剂载体优化. 农药学学报, 2014, 16(4): 445-451.
- LIU Z H, ZHANG L, LUO Y C, ZHANG D J, LI Y G. Optimization of *Paenibacillus polymyxa* wettable powder based on the extreme vertex mixture design. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2014, 16(4): 445-451. (in Chinese)
- [29] 袁会珠, 齐淑华, 杨代斌. 温室大棚粉尘法施药技术研究. 植物保护学报, 2000, 27(4): 364-368.
- YUAN H Z, QI S H, YANG D B. Studies on cloudy-dusting in plastic tunnel. *Journal of Plant Protection*, 2000, 27(4): 364-368. (in Chinese)
- [30] 郑建秋, 张云, 胡荣娟, 王艳梅. 保护地蔬菜粉尘施药技术. 中国植保导刊, 1995(5): 20-21.
- ZHENG J Q, ZHANG Y, HU R J, WANG Y M. Application technology of vegetable dust in protected land. *China Plant Protection*, 1995(5): 20-21. (in Chinese)
- [31] 赵国庆, 崔文德, 李朝恒, 刘纪高. 粉尘剂在棚室蔬菜上的使用技术. 长江蔬菜, 2000(7): 20-21.
- ZHAO G Q, CUI W D, LI C H, LIU J G. Application technology of dust on greenhouse vegetables. *Changjiang Vegetables*, 2000(7): 20-21. (in Chinese)

(责任编辑 岳梅)