

7 种杀菌剂对 3 种林木腐烂病菌的毒力测定及活性评价

潘子豪¹, 张义智², 刘朋飞¹, 齐鹤³, 李辉玲⁴, 楼兵干^{1*}

(1. 浙江大学生物技术研究所, 农业农村部作物病虫分子生物学重点实验室, 杭州 310058; 2. 新疆维吾尔自治区库尔勒市林业与草原局, 库尔勒 841000; 3. 新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州林业与草原局, 库尔勒 841000; 4. 新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州农业科学研究院, 库尔勒 841000)

摘要 林木腐烂病是苹果树、梨树和杨树等林木枝干的重要真菌性病害。为了筛选出对苹果树腐烂病菌 *Valsa mali* var. *mali*、梨树腐烂病菌 *V. mali* var. *pyri* 和杨树腐烂病菌 *V. sordida* 等 3 种不同寄主腐烂病菌都能有效防控的杀菌剂, 本研究开展室内毒力试验比较了 7 种杀菌剂对 3 种腐烂病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的抑制效果, 并进一步通过田间活性测定试验比较 7 种杀菌剂对梨树腐烂病斑扩展和分生孢子发生的防治效果, 同时测定了增效剂 8.6% 聚乙二醇(PEG)对 7 种杀菌剂的增效作用。毒力测定结果表明, 苯醚甲环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯和丙唑·多菌灵对 3 种腐烂病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的抑制作用较强, 其中 EC₅₀ 平均值最低的是苯醚甲环唑, 而戊唑醇的 MIC 平均值最低, 在 0.33 mg/L 浓度下对 3 种腐烂病原菌的菌丝生长和分生孢子萌发抑制率均达到 100%。田间试验结果表明, 45% 苯醚甲环唑 SC、43% 戊唑醇 SC 和 35% 丙唑·多菌灵 SE 对梨树腐烂病斑扩展和分生孢子萌发的防治效果突出, 其中 45% 苯醚甲环唑 SC 30.00 mg/L 对病斑扩展防治效果达到 82.23%, 孢子萌发抑制效果达到 85.96%, 田间防治效果最好。10% 丙硫唑 SC+8.6% PEG 处理组对病斑扩展防治效果提高了 15.39 个百分点, 达到 73.46%, 分生孢子萌发抑制率提高了 23.75 个百分点, 达到 83.06%, 增效作用显著。本研究为苹果树、梨树和杨树等 3 种寄主腐烂病的化学防控提供了科学依据。

关键词 林木腐烂病; 梨树腐烂病菌; 毒力测定与活性评价; 增效剂

中图分类号: S 436.611.11 文献标识码: B DOI: 10.16688/j.zwbh.2023072

Toxicity and field control efficacy of seven fungicides on three pathogens of *Valsa* canker disease

PAN Zihao¹, ZHANG Yizhi², LIU Pengfei¹, QI He³, LI Huiling⁴, LOU Binggan^{1*}

(1. Institute of Biotechnology, Zhejiang University, Key Laboratory of Molecular Biology of Crop Pathogens and Insects, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Hangzhou 310058, China; 2. Forestry and Grassland Bureau, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Korla 841000, China; 3. Bayingol Mongolian Autonomous Prefecture Forestry and Grassland Administration, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Korla 841000, China; 4. Institute of Agricultural Sciences of Bayingol Mongolian Autonomous Prefecture, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Korla 841000, China)

Abstract *Valsa* canker is an important fungal disease of tree branches such as apple, pear and poplar. In order to screen the fungicides which can effectively control the pathogens of three different hosts, *Valsa mali* var. *mali*, *V. mali* var. *pyri* and *V. sordida*, laboratory toxicity test was conducted to compare the inhibitory effects of seven fungicides on mycelium growth and conidial germination of the *Valsa* canker pathogens of three different hosts, and the field trial was conducted to compare the control effects of seven fungicides on lesion expansion and conidial germination of *V. pyri*. We also tested the synergistic effect of 8.6% PEG, a fungicidal synergist. Toxicity test indicated that difenoconazole, tebuconazole, pyraclostrobin and propiconazole·carbendazim showed higher

收稿日期: 2023-02-21 修订日期: 2023-03-27

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1400200)

* 通信作者 E-mail: bglou@zju.edu.cn

inhibition effect on mycelium growth and conidial germination of three tested *Valsa* canker pathogens, difenoconazole showed the minimum average EC_{50} value among them, and the inhibition rates of tebuconazole against mycelial growth and conidial germination of three *Valsa* canker pathogens both reached 100% at the concentration of 0.33 mg/L, which showed the minimum average MIC value. Field trial demonstrated that difenoconazole 45% SC, tebuconazole 43% SC and propiconazole · carbendazim 35% SE showed better control effects on lesion expansion and conidial germination of pear *Valsa* canker. Among them, the control efficacy on lesion expansion of difenoconazole 45% SC (30.00 mg/L) reached 82.23%, and the inhibition rate of conidial germination in the field reached 85.96%, which showed the best control effect among the seven fungicides. Albendazole 10% SC combined with synergist 8.6% PEG had obvious synergistic effect, with the control efficacy of lesion expansion increased by 15.39 percentage points and the inhibition rate of conidial germination increased by 23.75 percentage points, which were 73.46% and 83.06%, respectively. The above results provide a scientific basis for the chemical control of three host canker diseases, such as apple, pear and poplar.

Key words *Valsa* canker disease; *Valsa mali* var. *pyri*; toxicity and activity evaluation; synergist

林木腐烂病是由黑腐皮壳属真菌(*Valsa* spp., 无性型为 *Cytospora* spp.) 引起的世界性林木枝干病害, 轻则造成树皮溃疡腐烂, 导致树势衰弱、果品产量降低, 重则整株干枯坏死。杨树腐烂病主要由杨树腐烂病菌 *V. sordida* 引起, *V. mali* 则是引起我国苹果树腐烂病和梨树腐烂病的主要病原菌, *V. mali* 又分为 2 个致病变种, 其中梨树腐烂病菌 *V. mali* var. *pyri* 既能引起梨树腐烂病也可以引起苹果树腐烂病, 而苹果树腐烂病菌 *V. mali* var. *mali* 则主要引起苹果树腐烂病^[1-3]。近年来, 新疆地区林木腐烂病发生严重, 在 2017 年以前, 阿拉尔垦区 90% 以上的香梨树死亡都是由梨树腐烂病菌引起, 巴州全区香梨树腐烂病的平均发病率达到 50%^[4], 阿克苏地区 8~10 年树龄苹果园的苹果树腐烂病平均株发病率为 33.5%, 严重的果园株发病率达 80%^[5], 大量的梨树、苹果树和杨树等林木枯死, 甚至直接毁园, 损失不计其数。腐烂病除了病原菌菌丝随病斑扩展, 分生孢子同样也是腐烂病的田间重要侵染源, 一小块能够长出分生孢子角的病斑能在短期内繁衍出大量分生孢子, 使得病原菌在果园内快速积累并侵染更多寄主^[6]。由于新疆地区梨园、苹果园常用杨树作为防风林, 不同寄主之间的腐烂病菌存在交互侵染关系^[2-3], 防控难度较大。同时, 随着重要检疫性细菌病害梨火疫病在新疆地区的大面积发生, 大量梨树受到侵染导致树势下降, 间接加剧了梨树腐烂病发生的严重度, 使得防控难度进一步加大, 严重制约了新疆地区林果产业的健康发展。

目前, 腐烂病的防治仍以化学防治为主, 随着高毒杀菌剂福美肿的禁用和新型杀菌剂的推出, 学者们针对腐烂病的有效化学药剂筛选开展了广泛的研究。相关研究表明, 三唑类杀菌剂戊唑醇、苯醚甲环唑对于苹果树腐烂病表现出较好的室内抑菌效果和田间防治效果, 可作为高毒禁药福美肿的替代杀菌剂用于防控苹果树腐烂病^[7-10]。甲基硫菌灵、吡唑醚菌酯、丙唑·多菌灵、噻霉酮等作为当前国内腐烂病的登记使用杀菌剂, 对苹果树腐烂病同样有很好的防治效果^[9-12]。但上述杀菌剂对梨树、苹果树和杨树 3 种不同寄主腐烂病菌是否都有效, 是否可以用一种药剂同时防控 3 种腐烂病, 目前未见有相关报道。因此, 筛选出对于苹果树、梨树和杨树腐烂病病原菌菌丝和分生孢子均有抑制作用的杀菌剂, 对防控新疆地区存在交叉侵染关系的苹果树、梨树和杨树 3 种腐烂病有着重要意义。

增效剂(助剂)是一类本身没有生物活性的化合物, 但与农药桶混后, 能够促进农药的吸收与传导、提高药剂在作物表面吸附性, 从而提高药效, 降低药剂用量, 减缓抗药性产生, 目前市面上常用的增效剂主要包括有机硅类、表面活性剂和植物油等^[13]。已有研究表明, 醚菌酯与农用有机硅助剂混配后对马铃薯晚疫病的防效显著提高, 降低 20% 用药量后防效仍高于常规无助剂处理^[14]; 甲硫·萘乙酸与乙基化和甲基化植物油混配后对苹果树腐烂病的田间防治效果显著提升^[15]。聚乙二醇(PEG)是由多个乙氧基重复单元构成的线性聚醚, 凭借其独特的物理

化学性能,近些年来在纳米农药领域得到广泛应用^[16]。R91是一种有效成分为8.6% PEG的新型杀菌增效剂,不仅能够提高杀菌剂的有效成分活力使其快速到达病株各部位杀死靶标病菌,而且持效期长、安全无残留,应用前景广阔。

本研究选用包括戊唑醇、甲基硫菌灵、吡唑醚菌酯、丙唑·多菌灵和噻霉酮5种苹果树腐烂病登记用药在内的共7种杀菌剂开展室内毒力试验,测定7种杀菌剂对于苹果树、梨树和杨树腐烂病菌菌丝生长和分生孢子萌发的抑制作用,并在此基础上采用喷雾法进行田间活性测定试验,比较7种杀菌剂对于梨树腐烂病的防治效果差异,并通过添加增效剂8.6%聚乙二醇以期提高药剂防效,旨在为苹果树、梨树和杨树3种不同寄主腐烂病的绿色防控新技术提供科学依据,为新疆地区林果产业的健康发展提供保障。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试病原菌

苹果树腐烂病菌 *V. mali* var. *mali*、梨树腐烂病菌 *V. pyri* var. *pyri* 和杨树腐烂病菌 *V. sordida* 均由浙江大学生物技术研究所楼兵干教授于新疆维吾尔自治区库尔勒市的病树上分离纯化获得,经过柯赫氏法则验证和系统鉴定后在PDA培养基上培养、低温保存。分别选取其中致病力较强的苹果树、梨树和杨树腐烂病菌株 PG-AKS1、L1-AWT3 和 Y-SYD1 作为本次研究的供试菌株。

1.1.2 杀菌剂及增效剂

本研究根据前人的相关研究报道^[7-12]和本团队前期的试验结果,共选用7种杀菌剂和1种增效剂开展试验,分别为10%丙硫唑悬浮剂(贵州道元生物技术有限公司)、43%戊唑醇悬浮剂(拜耳作物科学有限公司北京分公司)、25%吡唑醚菌酯悬浮剂(安徽丰乐农化有限责任公司)、35%丙唑·多菌灵悬乳剂(青岛中达农业科技有限公司)、45%苯醚甲环唑悬浮剂(华北制药集团爱诺有限公司)、50%甲基硫菌灵悬浮剂(山西德威本草生物科技有限公司)、3%噻霉酮可湿性粉剂(陕西西大华特科技实业有限公司),增效剂8.6%聚乙二醇(PEG)(云南奔

牛生物科技有限公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 杀菌剂对3种腐烂病菌的室内毒力测定

1.2.1.1 杀菌剂对菌丝生长的抑制作用

采用菌丝生长速率法^[17]分别测定杀菌剂对3种病原菌菌丝生长的抑制作用。在预试验的基础上,分别取4 mL各待测杀菌剂10倍母液加入36 mL已灭菌冷却至50℃的PDA培养基中充分混匀,倒入4个直径为9 cm的培养皿中(每皿10 mL),待冷却凝固后,分别取在PDA培养基上25℃黑暗培养48 h的供试病原菌菌株 PG-AKS1、L1-AWT3 和 Y-SYD1 的菌饼,菌丝面朝下接于含药平板中央,25℃恒温黑暗培养。以3种病原菌菌饼分别接于不含药PDA平板作为空白对照,每个处理和对照4次重复。72 h后,按照十字交叉法测量各处理与对照的菌落直径,按照公式计算菌丝生长抑制率。以各杀菌剂处理浓度的对数值为自变量 x ,菌丝生长抑制率几率值为因变量 y ,使用SPSS 23 软件进行回归分析,求出有效中浓度 EC_{50} 值,并计算各杀菌剂对3种病原菌菌丝生长的 EC_{50} 平均值来比较各杀菌剂对3种腐烂病菌菌丝生长的抑制作用。

菌落生长直径 = 菌落直径 - 菌饼直径;

菌丝生长抑制率 = (空白对照组菌落生长直径 - 处理组菌落生长直径) / 空白对照组菌落生长直径 × 100%。

1.2.1.2 杀菌剂对分生孢子萌发的抑制作用

采用离体枝条接种法^[18]分别培养3种腐烂病菌的分生孢子。分别取长势一致的2年生苹果树、梨树、杨树枝条,经流动清水冲洗、75%乙醇和1%次氯酸钠浸泡消毒后,在超净工作台上,用解剖刀在枝条中间切去直径为5 mm的小块树皮,将培养48 h的病原菌菌株 PG-AKS1、L1-AWT3 和 Y-SYD1 的菌饼分别贴在苹果树、梨树和杨树枝条的伤口处,密封保湿培养,25℃恒温光照培养15 d。待3种枝条上长出分生孢子角,用10% PDB 制备成浓度约为 1×10^6 个/mL的3种分生孢子悬浮液备用。

采用凹玻片法^[19]测定杀菌剂对3种腐烂病菌分生孢子萌发的抑制作用。在预试验的基础上,分别吸取0.5 mL孢子悬浮液与0.5 mL配制好的待

测杀菌剂 2 倍母液等量混合, 然后取 2 滴混合液滴加于凹玻片上, 以不加杀菌剂的孢子悬浮液作为空白对照, 架放于含有浅层无菌水的培养皿中, 25℃ 黑暗保湿培养, 每个处理和对照 3 次重复。待对照组分生孢子萌发率超过 90% 时, 观察统计各处理分生孢子萌发情况, 以孢子芽管长度大于孢子短半径视为萌发。每个玻片至少观察 5 个视野, 每个视野至少统计 50 个孢子, 记录萌发孢子数, 按照公式计算孢子萌发率和抑制率。以杀菌剂处理浓度对数值为自变量 x , 孢子萌发抑制率几率值为因变量 y , 使用 SPSS 23 软件进行回归分析, 求出有效抑制中浓度 EC_{50} 值, 并计算各杀菌剂对 3 种病原菌分生孢子萌发的 EC_{50} 平均值来比较各杀菌剂对 3 种腐烂病菌分生孢子萌发的抑制作用。

分生孢子萌发率 = 萌发的分生孢子数 / 分生孢子总数 $\times 100\%$;

分生孢子萌发抑制率 = (空白对照组分生孢子萌发率 - 处理组分生孢子萌发率) / 空白对照组分生孢子萌发率 $\times 100\%$ 。

1.2.2 杀菌剂对 3 种腐烂病菌菌丝生长和分生孢子萌发的最低抑制浓度测定

依据 1.2.1.1 和 1.2.1.2 中毒力测定的结果, 按照 1.2.1.1 和 1.2.1.2 中相同的方法分别测定 7 种杀菌剂对 3 种腐烂病菌菌丝生长和分生孢子萌发的最低抑制浓度 (MIC)。以梯度浓度的含药 PDA 培养基 (或含药 10% PDB 培养液) 中无菌丝生长 (或无分生孢子萌发) 为完全抑制生长, 对应的最低浓度用 “C⁻” 表示, 含药 PDA 培养基 (或含药 10% PDB 培养液) 中有菌丝生长 (或有分生孢子萌发) 的最高浓度用 “C⁺” 表示, 最后根据公式求出两者的平均值即为最低抑制浓度 (MIC), 每个处理组和对照组设 4 个重复。用 SPSS 23 软件进行统计分析, 分析方法采用邓肯氏新复极差法, 显著水平 $\alpha = 0.05$ 。

$$MIC = (C^+ + C^-) / 2。$$

1.2.3 杀菌剂对梨树腐烂病菌的田间活性测定

1.2.3.1 试验地点

药剂田间活性测定试验地位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州库尔勒市农业农村局育苗中心 3 号大棚, 试验材料为 3 年生香梨幼树, 树体健康

无病虫害, 试验地栽培条件适宜。

1.2.3.2 药剂活性测定试验设计

药剂田间活性测定试验共设 14 个处理组和 2 个对照组。处理组分别为 10% 丙硫唑 SC 166.67 mg/L、43% 戊唑醇 SC 107.50 mg/L、25% 吡唑醚菌酯 SC 166.67 mg/L、35% 丙唑·多菌灵 SE 583.33 mg/L、45% 苯醚甲环唑 SC 30.00 mg/L、50% 甲基硫菌灵 SC 500.00 mg/L、3% 噻霉酮 WP 37.50 mg/L、10% 丙硫唑 SC 166.67 mg/L + 8.6% PEG 143.33 mg/L、43% 戊唑醇 SC 107.50 mg/L + 8.6% PEG 143.33 mg/L、25% 吡唑醚菌酯 SC 166.67 mg/L + 8.6% PEG 143.33 mg/L、35% 丙唑·多菌灵 SE 583.33 mg/L + 8.6% PEG 143.33 mg/L、45% 苯醚甲环唑 SC 30.00 mg/L + 8.6% PEG 143.33 mg/L、50% 甲基硫菌灵 SC 500.00 mg/L + 8.6% PEG 143.33 mg/L、3% 噻霉酮 WP 37.50 mg/L + 8.6% PEG 143.33 mg/L, 对照组分别为阳性对照、阴性对照。试验以 5 株香梨树为 1 个重复, 处理组和对照组均设 3 个重复。

1.2.3.3 病原菌接种和施药

在健康的香梨树上挑选长势基本一致的 2 年生枝干 (长度大于 1 m), 在中间部位用灭菌解剖刀切去直径为 5 mm 的小块树皮后, 贴上培养 48 h 的梨树腐烂病菌 L1-AWT3 菌饼 (直径 5 mm), 并用透明保鲜膜缠绕固定、保湿。接种 48 h 后, 取下菌饼和保鲜膜, 喷施杀菌剂 (或添加助剂的混剂), 直至所接种枝干上均匀挂满水珠形成细密的水膜。每个处理每隔 10 d 施药 1 次, 共计施药 3 次。以接种菌饼并喷施清水为阳性对照, 以贴空白 PDA 并喷施清水为阴性对照。

1.2.3.4 试验地发病情况调查与统计

1) 病斑扩展情况调查

调查记录每次施药后 10 d 各处理与对照组的病斑扩展情况。测量各处理与对照组的病斑长度, 根据公式计算防治效果。用 SPSS 23 软件进行统计分析, 分析方法采用邓肯氏新复极差法, 显著水平 $\alpha = 0.05$ 。

防治效果 = (阳性对照组病斑长度 - 处理组病斑长度) / 阳性对照组病斑长度 $\times 100\%$ 。

2) 分生孢子活性调查

第 1 次施药后 10 d, 对各处理与对照组病斑上

的分生孢子活性进行调查统计,并在第2次施药后10 d再次调查。分别从各处理与对照的病斑上不同发病区域采集至少5小块分生孢子角保存,带回实验室后分别加入10% PDB培养液中,制备成浓度约为 1×10^6 个/mL的分生孢子悬浮液,分别吸取2滴孢子悬浮液于凹玻片上,架放在含有浅层无菌水的培养皿中,25℃黑暗保湿培养,根据1.2.1.2节中相同的方法,待阳性对照组分生孢子萌发率超过90%时,观察统计各处理组分生孢子萌发情况,计算分生孢子萌发率和萌发抑制率,用SPSS 23软件进行统计分析,分析方法采用邓肯氏新复极差法,显著水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 杀菌剂对3种腐烂病病原菌的室内毒力

7种杀菌剂对3种腐烂病病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的室内毒力测定结果表明,7种杀菌剂对3种腐烂病病原菌菌株PG-AKS1、L1-AWT3和Y-SYD1的菌丝生长和孢子萌发均有生物活性,不同杀菌剂对同种病原菌的抑制作用存在差异,同种杀菌剂对于3种病原菌的毒力同样存在差异(表1、表2)。总体而言,在相同浓度下,供试杀菌剂对不同病原菌分生孢子的抑制效果基本都高于对菌丝的抑制效果,并且7种杀菌剂对杨树腐烂病菌Y-SYD1的毒力基本都高于对苹果树腐烂病菌PG-AKS1和梨树腐烂病菌L1-AWT3的毒力。在7种杀菌剂中,苯醚甲环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯和丙唑·多菌灵抑制3种病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的 EC_{50} 平均值均低于1.0 mg/L,表现出很强的抑制作用。其中苯醚甲环唑抑制3种病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的 EC_{50} 平均值都最低,分别为0.028 mg/L和0.010 mg/L,毒力最强。丙硫唑和噻霉酮抑制菌丝生长的 EC_{50} 平均值大于1.0 mg/L小于5.0 mg/L,抑制分生孢子萌发的 EC_{50} 平均值大于0.1 mg/L小于1.0 mg/L,抑菌效果较好。甲基硫菌灵抑制菌丝生长和分生孢子萌发的 EC_{50} 平均值分别达到28.760 mg/L和9.514 mg/L,在5%水平上显著高于其他杀菌剂,毒力最弱。

毒力方程的斜率反映了杀菌剂对于病原菌的急性毒作用带,斜率值越大急性毒作用带越小,药效越

好^[20]。毒力测定结果表明(表1、表2),丙硫唑、戊唑醇和丙唑·多菌灵对3种病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的斜率值相对较大,3种病原菌对这3种杀菌剂更加敏感,其中丙硫唑的斜率值最大,敏感性最高。

2.2 杀菌剂对3种腐烂病病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的最低抑制浓度(MIC)

7种杀菌剂对3种腐烂病病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的最低抑制浓度(MIC)测定结果表明,苯醚甲环唑、戊唑醇、吡唑醚菌酯和丙唑·多菌灵抑制3种病原菌菌丝生长和分生孢子萌发的MIC平均值均低于5.0 mg/L,表现出很强的抑制作用(表3、表4)。其中戊唑醇MIC平均值最低,在0.33 mg/L浓度下对3种病原菌的菌丝生长和分生孢子萌发抑制率均达到100%,毒力最强。苯醚甲环唑次之,在0.45 mg/L浓度下同样能够达到100%抑制效果。丙硫唑的MIC平均值分别为5.45、2.75 mg/L,抑菌效果较好。噻霉酮的MIC平均值分别为40.33、3.77 mg/L,抑菌效果一般。甲基硫菌灵对菌丝生长和分生孢子萌发的MIC平均值分别为241.00、111.67 mg/L,在5%水平上显著高于其他杀菌剂,抑菌活性最低。

2.3 杀菌剂对梨树腐烂病的田间活性

2.3.1 病斑扩展防治效果

7种杀菌剂对梨树腐烂病病斑扩展的抑制作用结果表明,7种杀菌剂对该病害病斑扩展均有不同程度的防治效果,不同杀菌剂之间防效有差异或有显著差异,施药次数越多,有效杀菌剂对梨树腐烂病的防治效果越高(表5)。在7种杀菌剂的无助剂处理组中,45%苯醚甲环唑SC在3次田间调查中防效均最高,且在第1次施药后防效超过50%,第2次超过70%,在第3次施药后平均病斑长度只有8.27 cm,显著低于除35%丙唑·多菌灵SE以外的其他5种杀菌剂处理组,防效达到了82.23%。其次是35%丙唑·多菌灵SE和43%戊唑醇SC,两者在第2次施药后防效均超过60%,第3次均超过70%,且两者之间无显著性差异。3%噻霉酮WP在3次调查中防效均低于50%,3次施药后病斑长度达到25.6 cm,显著高于其他6种杀菌剂处理组,防效只有44.44%。

表 1 7 种杀菌剂对 3 种病原菌菌丝生长的影响¹⁾
Table 1 Effects of seven fungicides on mycelium growth of three pathogenic fungi

供试杀菌剂 Tested fungicide	病原菌 Pathopathogen	试验浓度/(mg/L) Test concentration	EC ₅₀ / (mg/L)	斜率±标准误差 b±SE	χ ²	df	P	EC ₅₀ 平均值/(mg/L) Average of EC ₅₀ value
45%苯醚甲环唑 SC difenoconazole 45% SC	PG-AKSI	0.08, 0.04, 0.02, 0.01, 0.005	0.037	2.761±0.285	1.709	3	0.635	(0.028±0.005)b
	L1-AWT3	0.072, 0.036, 0.018, 0.009, 0.005	0.027	3.092±0.294	0.823	3	0.844	
	Y-SYDI	0.072, 0.036, 0.018, 0.009, 0.0045	0.019	2.145±0.256	0.691	3	0.875	
43%戊唑醇 SC tebuconazole 43% SC	PG-AKSI	0.30, 0.15, 0.075, 0.0375, 0.019	0.081	3.516±0.310	1.286	3	0.733	(0.040±0.020)b
	L1-AWT3	0.035, 0.025, 0.018, 0.013, 0.009	0.017	5.176±0.540	1.998	3	0.573	
	Y-SYDI	0.06, 0.03, 0.015, 0.008, 0.004	0.023	2.709±0.276	2.273	3	0.518	
35%丙唑·多菌灵 SE propiconazole·carbendazim 35% SE	PG-AKSI	0.32, 0.16, 0.08, 0.04, 0.02	0.087	2.900±0.278	1.920	3	0.589	(0.093±0.051)b
	L1-AWT3	0.35, 0.25, 0.179, 0.128, 0.091	0.183	7.273±0.640	4.436	3	0.218	
	Y-SYDI	0.02, 0.01, 0.005, 0.0025, 0.0013	0.008	2.950±0.289	2.361	3	0.501	
25%吡唑醚菌酯 SC pyraclastrobin 25% SC	PG-AKSI	1.20, 0.60, 0.30, 0.15, 0.075	0.346	2.130±0.247	1.461	3	0.691	(0.129±0.109)b
	L1-AWT3	0.10, 0.05, 0.025, 0.013, 0.006	0.035	1.678±0.235	1.496	3	0.683	
	Y-SYDI	0.01, 0.005, 0.0025, 0.0013, 0.0006	0.006	2.852±0.304	2.290	3	0.514	
10%丙硫唑 SC albendazole 10% SC	PG-AKSI	2.70, 1.80, 1.20, 0.80, 0.53	1.594	4.615±0.473	1.113	3	0.774	(1.548±0.320)b
	L1-AWT3	1.62, 1.08, 0.72, 0.48, 0.32	0.973	4.717±0.479	3.806	3	0.283	
	Y-SYDI	3.60, 2.40, 1.60, 1.07, 0.71	2.078	5.828±0.535	2.902	3	0.407	
3%噻霉酮 WP benzothiazolimonone 3% WP	PG-AKSI	15.00, 7.50, 3.75, 1.88, 0.94	4.547	3.041±0.286	4.259	3	0.235	(3.693±0.447)b
	L1-AWT3	12.00, 6.00, 3.00, 1.50, 0.75	3.496	2.955±0.281	2.488	3	0.477	
	Y-SYDI	12.50, 6.25, 3.125, 1.563, 0.781	3.035	2.492±0.260	1.821	3	0.610	
50%甲基硫菌灵 SC thiophanate-methyl 50% SC	PG-AKSI	150.00, 75.00, 37.50, 18.75, 9.38	57.432	2.946±0.287	3.572	3	0.312	(28.760±16.436)a
	L1-AWT3	60.00, 40.00, 26.67, 17.78, 11.85	28.347	2.895±0.399	1.381	3	0.710	
	Y-SYDI	0.90, 0.60, 0.40, 0.267, 0.178	0.502	4.161±0.448	0.601	3	0.896	

1) EC₅₀平均值为 3 个重复的平均值±标准误差, 同列中不同字母表示经 Duncan 新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。下同。

The EC₅₀ average value were mean±standard errors for three experiments. Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences ($P<0.05$) using Duncan's new multiple range method. The same below.

表 2 7 种杀菌剂对 3 种病原菌孢子萌发的影响
Table 2 Effects of seven fungicides on conidial germination of three pathogenic fungi

供试杀菌剂 Tested fungicide	病原菌 Phytopathogen	试验浓度/(mg/L) Test concentration	EC ₅₀ / (mg/L)	斜率±标准误差 b±SE	χ ²	df	P	EC ₅₀ 平均值/(mg/L) Average of EC ₅₀ value
45%苯醚甲环唑 SC difenoconazole 45% SC	PG-AKS1	0.018,0.012,0.008,0.005 3,0.0036	0.008	5.570±0.506	3.216	3	0.359	(0.010 3±0.003)b
	L1-AWT3	0.08,0.04,0.02,0.01,0.005	0.017	2.531±0.263	2.638	3	0.451	
	Y-SYD1	0.03,0.015,0.007 5,0.003 8,0.001 9	0.006	2.744±0.273	1.357	3	0.716	
43%戊唑醇 SC tebuconazole 43% SC	PG-AKS1	0.15,0.10,0.067,0.044,0.03	0.057	5.436±0.504	2.699	3	0.440	(0.039±0.012)b
	L1-AWT3	0.10,0.067,0.044,0.030,0.020	0.044	5.664±0.510	2.952	3	0.399	
	Y-SYD1	0.08,0.04,0.02,0.01,0.005	0.017	2.609±0.266	2.401	3	0.494	
35%丙唑·多菌灵 SE propiconazole·carbendazim 35% SE	PG-AKS1	0.20,0.10,0.05,0.025,0.0125	0.093	3.426±0.323	2.887	3	0.409	(0.072±0.012)b
	L1-AWT3	0.20,0.10,0.05,0.025,0.0125	0.052	3.864±0.330	6.099	3	0.107	
	Y-SYD1	0.30,0.15,0.075,0.037 5,0.018 8	0.070	3.449±0.306	3.135	3	0.371	
25%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 25% SC	PG-AKS1	0.40,0.20,0.10,0.05,0.025	0.111	2.805±0.274	2.000	3	0.572	(0.124±0.060)b
	L1-AWT3	0.36,0.24,0.16,0.107,0.071	0.233	4.627±0.483	1.622	3	0.654	
	Y-SYD1	0.081,0.054,0.036,0.024,0.016	0.027	5.639±0.527	4.656	3	0.199	
3%噻霉酮 WP benzothiazolinone 3% WP	PG-AKS1	4.00,2.00,1.00,0.50,0.25	0.906	3.006±0.283	3.742	3	0.291	(0.474±0.219)b
	L1-AWT3	1.60,0.80,0.40,0.20,0.10	0.316	3.461±0.309	3.079	3	0.380	
	Y-SYD1	0.60,0.30,0.15,0.075,0.037 5	0.200	3.023±0.287	4.390	3	0.222	
10%丙硫唑 SC albendazole 10% SC	PG-AKS1	2.40,1.60,1.07,0.71,0.47	1.233	6.040±0.536	1.091	3	0.779	(0.786±0.253)b
	L1-AWT3	2.40,1.60,1.07,0.71,0.47	0.766	4.341±0.464	2.344	3	0.504	
	Y-SYD1	0.60,0.40,0.267,0.178,0.119	0.359	4.985±0.493	1.137	3	0.768	
50%甲基硫菌灵 SC thiophanate-methyl 50% SC	PG-AKS1	40.00,20.00,10.00,5.00,2.50	10.992	2.549±0.263	2.800	3	0.424	(9.514±3.584)a
	L1-AWT3	40.00,20.00,10.00,5.00,2.50	14.849	2.461±0.263	0.532	3	0.912	
	Y-SYD1	10.00,5.00,2.50,1.25,0.625	2.702	4.003±0.339	3.350	3	0.341	

表 3 7 种杀菌剂对 3 种病原菌菌丝生长的最低抑制浓度(MIC)测定¹⁾

Table 3 Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) of seven fungicides on mycelium growth of three pathogenic fungi

供试杀菌剂 Tested fungicide	病原菌 Phytopathogen	试验浓度/(mg/L) Test concentration	MIC	MIC 平均值/(mg/L) Average of MIC value
43% 戊唑醇 SC tebuconazole 43% SC	PG-AKS1	0.40, 0.80, 1.60, 3.20, 6.40	0.60	(0.33±0.15)b
	L1-AWT3	0.043, 0.064, 0.096, 0.144, 0.216	0.08	
	Y-SYD1	0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60	0.30	
45% 苯醚甲环唑 SC difenoconazole 45% SC	PG-AKS1	0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60	0.60	(0.45±0.09)b
	L1-AWT3	0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60	0.30	
	Y-SYD1	0.16, 0.24, 0.36, 0.54, 0.81	0.45	
35% 丙唑·多菌灵 SE propiconazole·carbendazim 35% SE	PG-AKS1	0.60, 1.20, 2.40, 4.80, 9.60	0.90	(0.53±0.23)b
	L1-AWT3	0.40, 0.80, 1.60, 3.20, 6.40	0.60	
	Y-SYD1	0.053, 0.08, 0.12, 0.18, 0.27	0.10	
25% 吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 25% SC	PG-AKS1	2.20, 4.40, 8.80, 17.60, 35.20	6.60	(2.74±1.97)b
	L1-AWT3	0.25, 0.50, 1.00, 2.00, 4.00	1.50	
	Y-SYD1	0.04, 0.08, 0.16, 0.32, 0.64	0.12	
10% 丙硫唑 SC albendazole 10% SC	PG-AKS1	3.60, 5.40, 8.10, 12.15, 18.23	6.75	(5.45±0.95)b
	L1-AWT3	2.40, 4.80, 9.60, 19.20, 38.40	3.60	
	Y-SYD1	4.00, 8.00, 16.00, 32.00, 64.00	6.00	
3% 噻霉酮 WP benzothiazolinone 3% WP	PG-AKS1	21.33, 32.00, 48.00, 72.00, 108.00	40.00	(40.33±2.60)b
	L1-AWT3	12.00, 24.00, 48.00, 96.00, 192.00	36.00	
	Y-SYD1	16.00, 24.00, 36.00, 54.00, 81.00	45.00	
50% 甲基硫菌灵 SC thiophanate-methyl 50% SC	PG-AKS1	160.00, 240.00, 360.00, 540.00, 810.00	450.00	(241.00±129.85)a
	L1-AWT3	45.00, 90.00, 180.00, 360.00, 720.00	270.00	
	Y-SYD1	1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00	3.00	

1) MIC 平均值为 3 个重复的平均值±标准误差, 同列中不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平差异, 下同。

The MIC average value were mean±standard errors for three experiments. Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences ($P<0.05$) using Duncan's new multiple range method. The same below.

表 4 7 种杀菌剂对 3 种病原菌分生孢子萌发的最低抑制浓度(MIC)测定

Table 4 Determination of minimum inhibitory concentration (MIC) of seven fungicides on conidial germination of three pathogenic fungi

供试杀菌剂 Tested fungicide	病原菌 Phytopathogen	试验浓度/(mg/L) Test concentration	MIC	MIC 平均值/(mg/L) Average of MIC value
45% 苯醚甲环唑 SC difenoconazole 45% SC	PG-AKS1	0.01, 0.02, 0.04, 0.08, 0.16	0.03	(0.15±0.08)b
	L1-AWT3	0.10, 0.20, 0.40, 0.80, 1.60	0.30	
	Y-SYD1	0.04, 0.08, 0.16, 0.32, 0.64	0.12	
43% 戊唑醇 SC tebuconazole 43% SC	PG-AKS1	0.16, 0.24, 0.36, 0.54, 0.81	0.20	(0.20±0.00)b
	L1-AWT3	0.16, 0.24, 0.36, 0.54, 0.81	0.20	
	Y-SYD1	0.11, 0.16, 0.24, 0.36, 0.54	0.20	
35% 丙唑·多菌灵 SE propiconazole·carbendazim 35% SE	PG-AKS1	0.43, 0.64, 0.96, 1.44, 2.16	0.80	(0.57±0.15)b
	L1-AWT3	0.20, 0.40, 0.80, 1.60, 3.20	0.30	
	Y-SYD1	0.40, 0.80, 1.60, 3.20, 6.40	0.60	
25% 吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 25% SC	PG-AKS1	0.40, 0.80, 1.60, 3.20, 6.40	1.20	(0.80±0.31)b
	L1-AWT3	0.36, 0.54, 0.81, 1.22, 1.82	1.00	
	Y-SYD1	0.11, 0.16, 0.24, 0.36, 0.54	0.20	
10% 丙硫唑 SC albendazole 10% SC	PG-AKS1	2.50, 5.00, 10.00, 20.00, 40.00	3.75	(2.75±0.66)b
	L1-AWT3	1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00	3.00	
	Y-SYD1	1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 16.00	1.50	
3% 噻霉酮 WP benzothiazolinone 3% WP	PG-AKS1	5.00, 10.00, 20.00, 40.00, 80.00	7.50	(3.77±1.87)b
	L1-AWT3	1.60, 2.40, 3.60, 5.40, 8.10	2.00	
	Y-SYD1	0.60, 1.20, 2.40, 4.80, 9.60	1.80	
50% 甲基硫菌灵 SC thiophanate-methyl 50% SC	PG-AKS1	40.00, 80.00, 160.00, 320.00, 640.00	120.00	(111.67±53.57)a
	L1-AWT3	47.41, 71.11, 106.67, 160.00, 240.00	200.00	
	Y-SYD1	12.00, 18.00, 27.00, 40.50, 60.75	15.00	

表 5 7 种杀菌剂对梨树腐烂病病斑扩展的防治效果¹⁾

Table 5 Control efficacy of seven fungicides on lesion extension against pear Valsa canker

处理 Treatment	有效浓度/ (mg/L)		第 1 次药后 10 d		第 2 次药后 10 d		第 3 次药后 10 d	
	Effective concentration	病斑长度/cm Lesion length	防治效果/% Control efficacy	病斑长度/cm Lesion length	防治效果/% Control efficacy	病斑长度/cm Lesion length	防治效果/% Control efficacy	病斑长度/cm Lesion length
45%苯醚甲环唑 SC difenoconazole 45% SC	30.00	(7.65±0.29)e	(53.11±2.19)a	(7.98±0.29)g	(71.37±1.01)a	(8.27±0.33)i	(82.23±0.33)a	
45%苯醚甲环唑 SC+8.6%聚乙二醇 difenoconazole 45% SC+8.6% PEG	30.00+143.33	(8.02±0.40)e	(50.84±3.03)ab	(8.57±0.33)fg	(69.13±2.47)a	(9.83±0.35)hi	(78.73±1.58)ab	
35%丙唑·多菌灵 SE+8.6%聚乙二醇 propiconazole·carbendazim 35% SE+8.6% PEG	583.33+143.33	(8.20±0.38)de	(49.49±6.42)abc	(8.83±0.28)fg	(68.33±0.78)a	(10.60±0.59)hi	(76.99±2.40)abc	
35%丙唑·多菌灵 SE propiconazole·carbendazim 35% SE	583.33	(7.87±0.19)e	(51.82±1.26)ab	(9.60±0.44)efg	(65.63±0.41)a	(11.70±0.47)ghi	(74.64±2.32)abcd	
10%丙硫唑 SC+8.6%聚乙二醇 albendazole 10% SC+8.6% PEG	166.67+143.33	(10.22±0.55)bc	(37.19±5.36)bcd	(11.60±0.84)e	(58.16±4.49)ab	(12.20±0.96)fgh	(73.46±3.39)abcd	
43%戊唑醇 SC tebuconazole 43% SC	107.50	(9.97±0.38)bcd	(38.97±2.33)abcd	(11.03±0.78)ef	(60.59±1.15)ab	(13.40±0.81)fgh	(71.25±0.28)bcd	
50%甲基硫菌灵 SC+8.6%聚乙二醇 thiophanate-methyl 50% SC+8.6% PEG	500.00+143.33	(8.50±0.38)cde	(48.04±0.42)abcd	(10.07±0.52)efg	(63.67±1.07)a	(14.50±0.85)fg	(68.76±2.04)cde	
43%戊唑醇 SC+8.6%聚乙二醇 tebuconazole 43% SC+8.6% PEG	107.50+143.33	(9.40±0.55)bcde	(42.62±0.69)abcd	(10.20±0.72)efg	(63.44±2.39)a	(15.40±0.67)ef	(66.78±2.05)def	
50%甲基硫菌灵 SC thiophanate-methyl 50% SC	500.00	(8.73±0.77)cde	(46.07±7.04)abcd	(11.60±0.81)e	(58.23±3.78)ab	(18.37±1.11)de	(60.46±2.37)efg	
10%丙硫唑 SC albendazole 10% SC	166.67	(10.92±0.60)b	(33.26±2.30)d	(14.27±0.85)d	(48.59±4.77)bc	(19.37±1.21)d	(58.07±4.23)fg	
25%吡唑醚菌酯 SC+8.6%聚乙二醇 pyraclostrobin 25% SC+8.6% PEG	166.67+143.33	(10.57±0.77)b	(34.75±7.77)cd	(15.27±1.13)cd	(45.02±5.19)cd	(20.97±1.34)d	(54.85±2.99)g	
25%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 25% SC	166.67	(10.67±0.71)b	(34.42±5.78)d	(15.57±1.04)cd	(43.74±6.29)cd	(21.57±1.62)d	(53.55±3.59)g	
3%噁霉酮 WP benziethiazolinone 3% WP	37.50	(9.90±0.53)bcd	(39.11±5.28)abcd	(17.03±1.32)bc	(38.44±7.36)cd	(25.60±1.36)c	(44.44±5.76)h	
3%噁霉酮 WP+8.6%聚乙二醇 benziethiazolinone 3% WP+8.6% PEG	37.50+143.33	(10.07±0.34)bc	(38.37±1.76)abcd	(18.60±1.07)b	(32.95±6.26)d	(30.63±1.49)b	(34.10±2.62)i	
阳性对照 Positive control	—	(16.37±0.78)a	—	(27.93±1.20)a	—	(46.57±2.37)a	—	
阴性对照 Negative control	—	(0.00±0.00)f	—	(0.00±0.00)h	—	(0.00±0.00)j	—	

1) 病斑长度和防治效果数值为 3 次 5 个重复的平均值±标准误差, 同列中不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。

The lesion length and control efficacy were both mean±standard errors for three experiments and five replicates. Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences ($P<0.05$) using Duncan's new multiple range test method.

在 7 种杀菌剂加助剂处理组中,10%丙硫唑 SC 和 50%甲基硫菌灵 SC 与 8.6% PEG 混配后防治效果显著提升,并且随着施药次数的增加,增效作用逐渐提高。其中 10%丙硫唑 SC+8.6% PEG 处理组在第 3 次施药后病斑长度为 12.20 cm,显著低于无助剂处理组的 19.37 cm,防治效果达到 73.46%,较无助剂处理组防效提高了 15.39 百分点;50%甲基硫菌灵 SC+8.6% PEG 第 3 次施药后病斑长度为 14.50 cm,显著低于无助剂处理组的 18.37 cm,防效达到 68.76%,防效提高了 8.30 百分点。助剂对于 3%噻霉酮 WP 的增效作用呈负增长趋势,第 3 次施药后病斑长度高达 30.63 cm,显著高于无助剂处理组的 25.60 cm,防效降低了 10.34 百分点,仅

为 34.10%。助剂对其余 4 种杀菌剂的病斑扩展防效影响不大,混配后防效与无助剂处理防效无显著性差异。

2.3.2 分生孢子萌发抑制效果

7 种杀菌剂对梨树腐烂病的分生孢子萌发抑制作用结果表明,7 种杀菌剂对梨树腐烂病分生孢子萌发都有一定抑制作用,不同杀菌剂之间抑制效果有差异或有显著差异(表 6)。第 1 次施药后 10 d(第 2 次施药前),各处理组的分生孢子萌发抑制率均低于 50%,35%丙唑·多菌灵 SE 和 43%戊唑醇 SC 的抑制率较高,均超过 40%。除 25%吡唑醚菌酯 SC 和 3%噻霉酮 WP 以外的 5 种杀菌剂与增效剂混配后抑制率均有不同程度的提升,其中 10%丙

表 6 7 种杀菌剂对梨树腐烂病田间分生孢子萌发的抑制效果¹⁾

Table 6 Field inhibition efficacy of seven fungicides on conidial germination of pear Valsa canker

处理 Treatment	有效浓度/ (mg/L) Effective concentration	第 1 次施药后 10 d(第 2 次施药前) 10 days after 1st application		第 2 次施药后 10 d 10 days after 2nd application	
		分生孢子 萌发率/% Germination rate of conidia	萌发抑制率/% Inhibition rate of conidial germination	分生孢子 萌发率/% Germination rate of conidia	萌发抑制率/% Inhibition rate of conidial germination
		43%戊唑醇 SC+8.6%聚乙二醇 tebuconazole 43% SC+8.6% PEG	107.50+143.33	(52.38±2.18)fg	(44.65±2.81)ab
43%戊唑醇 SC tebuconazole 43% SC	107.50	(55.39±1.64)efg	(41.55±0.98)abc	(10.33±1.32)f	(88.61±1.51)a
45%苯醚甲环唑 SC+8.6%聚乙二醇 difenoconazole 45% SC+8.6% PEG	30.00+143.33	(52.58±2.17)fg	(44.46±2.53)ab	(10.40±1.53)f	(88.33±1.87)a
45%苯醚甲环唑 SC difenoconazole 45% SC	30.00	(57.80±2.34)def	(38.86±3.65)abcd	(12.60±0.84)f	(85.96±0.69)a
10%丙硫唑 SC+8.6%聚乙二醇 albendazole 10% SC+8.6% PEG	166.67+143.33	(52.37±2.57)fg	(44.58±3.84)ab	(15.09±2.18)f	(83.06±2.67)a
35%丙唑·多菌灵 SE+8.6%聚乙二醇 propiconazole·carbendazim 35% SE+8.6% PEG	583.33+143.33	(47.74±2.73)g	(49.64±2.41)a	(15.80±2.69)f	(82.44±2.70)a
35%丙唑·多菌灵 SE propiconazole·carbendazim 35% SE	583.33	(52.10±2.79)fg	(44.90±3.77)ab	(22.54±1.69)e	(74.90±1.29)b
10%丙硫唑 SC albendazole 10% SC	166.67	(64.17±1.52)bcd	(32.29±0.41)cde	(36.47±1.65)d	(59.31±1.34)c
25%吡唑醚菌酯 SC pyraclostrobin 25% SC	166.67	(67.96±2.15)bc	(28.13±3.67)de	(38.72±3.35)d	(56.91±2.81)c
3%噻霉酮 WP benziothiazolinone 3%WP	37.50	(65.31±3.96)bcd	(30.85±5.56)cde	(42.46±3.27)cd	(52.43±4.49)cd
25%吡唑醚菌酯 SC+8.6%聚乙二醇 pyraclostrobin 25% SC+8.6% PEG	166.67+143.33	(71.58±2.58)b	(24.37±3.32)e	(47.13±2.72)c	(47.49±1.81)d
3%噻霉酮 WP+8.6%聚乙二醇 benziothiazolinone 3%WP+8.6% PEG	37.50+143.33	(66.71±3.41)bc	(29.40±4.98)de	(48.27±2.23)c	(45.96±3.72)d
50%甲基硫菌灵 SC+8.6%聚乙二醇 thiophanate-methyl 50% SC+8.6% PEG	500.00+143.33	(62.09±3.00)cde	(34.32±4.33)bcde	(49.00±3.34)c	(45.40±2.69)d
50%甲基硫菌灵 SC thiophanate-methyl 50% SC	500.00	(70.95±3.03)b	(24.99±4.29)e	(59.84±2.51)b	(33.06±3.88)e
阳性对照 Positive control	—	(94.75±1.86)a	—	(89.61±2.11)a	—
阴性对照 Negative control	—	(0.00±0.00)h	—	(0.00±0.00)g	—

1) 分生孢子萌发率和萌发抑制率数值为 3 次 5 个重复的平均值±标准误差,同列中不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。

The germination rate and inhibition rate of conidia germination were both mean ± standard errors for three experiments and five replicates. Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) using Duncan's new multiple range test method.

硫唑 SC 和 50% 甲基硫菌灵 SC 与增效剂混配后对分生孢子抑制率分别提高了 12.29、9.33 百分点。

第 2 次施药后,在无助剂处理组中,43% 戊唑醇 SC 和 45% 苯醚甲环唑 SC 对分生孢子抑制率分别达到了 88.61% 和 85.96%,显著高于其他 5 种杀菌剂处理组,抑制作用较强。50% 甲基硫菌灵 SC 对分生孢子萌发抑制率只有 33.06%,显著低于其余 6 种杀菌剂处理组。加入助剂后,10% 丙硫唑 SC、50% 甲基硫菌灵 SC 和 35% 丙唑·多菌灵 SE 对分生孢子萌发抑制率有较大提升,其中 10% 丙硫唑 SC 提高到 83.06%,较无助剂处理组提升了 23.75 百分点,与抑制率最高的 45% 苯醚甲环唑 SC 和 43% 戊唑醇 SC 助剂处理组之间无显著差异性;35% 丙唑·多菌灵 SE 和 50% 甲基硫菌灵 SC 的抑制率分别较无助剂处理组显著提升了 7.54、12.34 百分点,分别为 82.44%、45.40%。加入助剂后,25% 吡唑醚菌酯 SC 和 3% 噻霉酮 WP 的分生孢子萌发抑制率有所降低,其中 25% 吡唑醚菌酯 SC 降低了 9.42 百分点,显著低于无助剂处理组。43% 戊唑醇 SC 和 45% 苯醚甲环唑 SC 与助剂混配后分生孢子萌发抑制率无显著性变化。

3 结论与讨论

本研究室内毒力测定结果表明,7 种药剂中对苹果树、梨树和杨树腐烂病病原菌菌丝生长和分生孢子萌发抑制有效中浓度 EC_{50} 平均值低于 1.0 mg/L 的杀菌剂有戊唑醇、苯醚甲环唑、丙唑·多菌灵和吡唑醚菌酯,最低抑制浓度 MIC 平均值低于 5.0 mg/L 的杀菌剂有戊唑醇、苯醚甲环唑、丙唑·多菌灵和吡唑醚菌酯。两种毒力测定结果一致表明,戊唑醇、苯醚甲环唑、丙唑·多菌灵和吡唑醚菌酯对 3 种腐烂病菌均有较强的抑制作用。田间活性测定结果表明,第 3 次施药后对梨树腐烂病病斑扩展和分生孢子萌发的田间防治效果均大于 70% 的杀菌剂有 43% 戊唑醇 SC、45% 苯醚甲环唑 SC 和 35% 丙唑·多菌灵 SE,与增效剂混配后增效显著且防效均大于 70% 的杀菌剂有 10% 丙硫唑 SC。以上 4 种药剂处理对梨树腐烂病有较好的防治效果。

苯醚甲环唑和戊唑醇同属于脱甲基抑制剂中的三唑类化合物,作用靶标是病原真菌体内的 C14- α -脱甲基酶,使得菌体内麦角甾醇含量降低,菌体细胞

膜功能受到破坏,从而抑制菌丝体和孢子的形成^[21-22]。前人研究表明,戊唑醇和苯醚甲环唑对苹果树腐烂病菌具有较高抑菌活性和田间防效^[7-10],本研究发现上述两种药剂除对苹果树腐烂病菌具有较高毒力,对梨树和杨树腐烂病菌也具有显著抑制作用,甚至毒力更高,此研究结果为防控新疆地区 3 种不同寄主腐烂病菌的交叉侵染提供了科学依据。丙硫唑最早应用于治疗蠕虫感染引起的临床疾病^[23],目前作为一种新型广谱杀菌剂,安全低毒,对于一些真菌病害和细菌病害均有较好的防治效果。本研究结果表明,10% 丙硫唑 SC 本身对梨树腐烂病防治效果一般,连续施药 3 次的防效仅有 58.41%,但其与增效剂 8.6% PEG 混配后的防效可达 73.80%,超过了 43% 戊唑醇 SC 的防效(71.25%)。新疆地区梨园中近年来暴发的梨火疫病常与梨树腐烂病混合发生,研究表明,10% 丙硫唑 SC 对于梨火疫病同样具有较好的防治效果^[20],在两种病害的混发区,使用增效剂 8.6% PEG 混配 10% 丙硫唑 SC 能够同时防控两种病害,很大程度上降低了生产成本。35% 丙唑·多菌灵 SE 是由有效成分浓度分别为 7% 和 28% 的丙环唑和多菌灵复配而成,具有多个杀菌活性位点,不易产生耐药菌,主要用于苹果树腐烂病和轮纹病的防治,本研究结果表明 35% 丙唑·多菌灵 SE 对 3 种病原菌均有较高的抑菌活性,并且对梨树腐烂病的田间防治效果仅次于 45% 苯醚甲环唑 SC,推荐与戊唑醇、苯醚甲环唑在田间交替使用,避免病原菌抗药性产生,延长杀菌剂使用寿命^[24]。

本研究还测定了 7 种杀菌剂与增效剂 8.6% PEG 混配后的田间活性,结果表明不同药剂与之混配后田间防效差异显著。杀菌剂与助剂桶混后并非都具有增效作用,有时也会表现出拮抗作用或无影响^[25]。本研究中 10% 丙硫唑 SC 与助剂混配后病斑的治疗效果和孢子萌发抑制率均显著提高,增效作用显著;45% 苯醚甲环唑 SC、43% 戊唑醇 SC 混配后防控效果无显著变化;3% 噻霉酮 WP 与 25% 吡唑醚菌酯 SC 混配后则防控效果显著降低,表现出明显的拮抗作用,推测可能是由于混合物组分之间的化学互作导致的。因此,在田间用药时不可盲目选用增效剂桶混,需要根据药剂的杀菌机理进行合理搭配,并通过田间试验验证,避免药效降低。此外,本研究团队在田间试验过程中发现,增

效剂 8.6% PEG 在高浓度(286.66 mg/L)下会对香梨花序、叶片和果实造成不同程度的药害,而在推荐浓度(143.33 mg/L)下喷施则安全无药害,故在田间施用时必须严格控制使用浓度,避免香梨花期用药。

长期以来,果农们在田间防控腐烂病采用的一直是冬季刮除病斑涂抹药剂的传统方法,此方法需要耗费大量的人力物力,不仅造成了树体本身千疮百孔、树势下降,而且只能对发病后期出现的明显溃疡斑进行被动治疗。腐烂病菌具有潜伏侵染、无症状带菌率高、显症时间长的特点^[26],发病高峰期为每年初春和夏季。已有研究表明,在腐烂病预防关键期提前用药淋刷树体主干大枝,能够显著降低苹果树腐烂病的发病率^[27]。本研究在温室条件下模拟了病害侵染关键期采用喷雾法施药防治梨树腐烂病的田间活性测定,结果表明使用该方法在关键期每隔 10 d 施药 1 次,连续 3 次施药对于梨树腐烂病病斑扩展防治效果最高可达 82.23%,分生孢子萌发抑制率最高可达 89.56%。相比传统刮治法,喷雾法具有作业效率高、生产成本低、兼具预防和治理作用的显著优势,符合当下农业机械化喷雾用药的规模化经营模式,顺应了党的二十大提出的“农业规模化经营”发展趋势^[28],应用潜力巨大。我们将在后续大田试验中针对喷雾法的有效药剂选择最佳用药时机以及助剂的混配开展进一步研究。

参考文献

- [1] WANG Xuli, WEI Jieling, HUANG Lili, et al. Re-evaluation of pathogens causing Valsa canker on apple in China [J]. *Mycologia*, 2011, 103(2): 317-324.
- [2] 刘础荣,董玥,李迎宾,等. 新疆部分地区苹果、核桃和杨树腐烂病的病原鉴定[J]. *植物病理学报*, 2020, 50(3): 267-275.
- [3] 周玉霞,程栋菁,张美鑫,等. 我国梨腐烂病病原菌的初步鉴定及序列分析[J]. *果树学报*, 2013, 30(1): 140-146.
- [4] 吴芳. 香梨腐烂病的病原鉴定及与香梨优斑螟相互影响关系[D]. 北京:北京林业大学, 2013.
- [5] 宋素琴,楚敏,曹焕,等. 新疆阿克苏地区苹果园主要病虫害发生现状调查[J]. *中国果树*, 2015(3): 74-75.
- [6] 林晓,孙传茹,王彩霞,等. 影响苹果树腐烂病菌侵染致病的流行因子[J]. *中国农业科学*, 2021, 54(11): 2333-2342.
- [7] 王磊,郜佐鹏,黄丽丽,等. 防治苹果树腐烂病杀菌剂的室内筛选[J]. *植物病理学报*, 2009, 39(5): 101-106.
- [8] 郭晓峰,徐秉良,韩健,等. 5 种化学药剂对苹果树腐烂病室内防效评价[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(18): 285-290.
- [9] 焦浩,范艳云,高小宁,等. 8 种药剂对苹果树腐烂病的田间防效评价[J]. *河南农业科学*, 2015, 44(10): 95-99.
- [10] 惠娜娜,郭建明,李继平,等. 6 种杀菌剂对苹果树腐烂病菌的毒力测定及田间防治效果[J]. *中国果树*, 2018, 194(6): 54-56.
- [11] 翟慧者,胡同乐,陈曲,等. 10 种化学杀菌剂对苹果树腐烂病的防效评价[J]. *植物保护*, 2012, 38(3): 151-154.
- [12] 周建波,殷辉,秦楠,等. 不同药剂对山西省苹果树腐烂病优势种群的室内毒力及田间防效测定[J]. *山西农业科学*, 2015, 43(9): 1169-1171.
- [13] 相栋,旺珍,陈翰秋,等. 4 种增效剂对 3 种小菜蛾防治药剂的增效作用[J]. *植物保护*, 2021, 47(4): 310-316.
- [14] 阴秀君,张玉慧,李强. 添加助剂减少防治马铃薯晚疫病用药量的效果初探[J]. *中国植保导刊*, 2019, 39(6): 72-73.
- [15] 韩玉红,张树武,毛维兴,等. 不同杀菌剂对苹果树腐烂病防治效果研究[J]. *中国果树*, 2019(3): 77-80.
- [16] 孙瑞. 聚乙二醇化纳米药物的制备及抗肿瘤性能研究[D]. 杭州:浙江大学, 2017.
- [17] 方中达. 植病研究方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1998: 427.
- [18] 臧睿,黄丽丽,康振生,等. 陕西苹果树腐烂病菌(*Cytospora* spp.)不同分离株的生物学特性与致病性研究[J]. *植物病理学报*, 2007(4): 343-351.
- [19] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则 杀菌剂: 第 1 部分 抑制真抑制病原真菌孢子萌发试验 凹玻片法: NY/T 1156.1-2006 [S]. 北京:中国农业出版社, 2008.
- [20] 刘朋飞,王岩,王泓力,等. 6 种杀菌剂对梨火疫病病菌的室内毒力测定和混配试验[J]. *植物保护*, 2022, 48(6): 98-104.
- [21] 徐建强,刁兴旺,李恒,等. 中国河南省小麦纹枯病菌对苯醚甲环唑及戊唑醇的敏感性[J]. *农药学报*, 2016, 18(5): 582-588.
- [22] MUNKVOLD G P. Seed pathology progress in academia and industry [J]. *Annual Review of Phytopathology*, 2009, 47: 285-311.
- [23] 石娅琼. 丙硫唑抗菌谱及其增效减量应用技术研究[D]. 南京:南京农业大学, 2015.
- [24] 刘娟,冯浩,王帅,等. 苹果树腐烂病菌对苯醚甲环唑的敏感性[J]. *植物保护*, 2019, 45(1): 170-173.
- [25] 吴仁海,孙慧慧,王彦兵,等. 9 种助剂对精噁唑禾草灵、炔草酯除草活性的影响[J]. *河南农业科学*, 2015, 44(12): 84-87.
- [26] 臧睿. 中国苹果树腐烂病菌的种群组成、分子检测及其 ISSR 遗传分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2012.
- [27] 王凯,郭成,郭斐然,等. 夏季药液刷干技术防控苹果树腐烂病的应用及效果调查[J]. *中国果树*, 2019(1): 89-91.
- [28] 徐志刚. 发展农业规模化经营[J]. *农业经济与管理*, 2023(1): 13-16.