

异菌脲及其复配剂在拟轮枝镰孢穗腐病防治中的应用

赖珏利^{1,2}, 刘树森², 张海剑², 郭宁², 石洁², 杨娟¹

(1. 河北科技师范学院农学与生物技术学院/河北省作物逆境生物学重点实验室, 河北 秦皇岛 066004; 2. 河北省农林科学院植物保护研究所/农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室/河北省农业有害生物综合防治技术创新中心/河北省作物有害生物综合防治国际科技联合研究中心, 河北 保定 071000)

摘要: 为明确异菌脲在玉米拟轮枝镰孢穗腐病防治中的效果, 采用菌丝生长速率法测定异菌脲等5种杀菌剂对拟轮枝镰孢的室内毒力, 并筛选新组合苯醚甲环唑与异菌脲的最佳复配比例; 田间评价新型复配药剂12%苯醚·异菌脲悬浮剂对拟轮枝镰孢穗腐病的防效。室内毒力测定表明, 三唑类杀菌剂氟环唑、丙环唑、苯醚甲环唑对拟轮枝镰孢的 EC_{50} 为0.019~0.045 mg/L, 氰烯菌酯和异菌脲的 EC_{50} 分别为3.130 mg/L和4.312 mg/L; 苯醚甲环唑与异菌脲按有效质量比1:3复配表现出增效作用。田间试验表明, 12%苯醚·异菌脲悬浮剂可显著降低拟轮枝镰孢穗腐病的发病率和发病面积占比, 对拟轮枝镰孢穗腐病的防治效果为66.95%, 单穗增产率为13.34%。研究表明, 异菌脲对拟轮枝镰孢生长有一定抑制作用, 12%苯醚·异菌脲悬浮剂具有防病减损效果, 可用于拟轮枝镰孢穗腐病的田间防控。

关键词: 玉米; 拟轮枝镰孢; 穗腐病; 异菌脲; 苯醚甲环唑

中图分类号: S435.131

文献标识码: A

Application of Iprodione and Its Compound Agents in the Control of *Fusarium verticillioides* Ear Rot

LAI Jue-li^{1,2}, LIU Shu-sen², ZHANG Hai-jian², GUO Ning², SHI Jie², YANG Juan¹

(1. College of Agriculture and Biotechnology, Hebei Normal University of Science and Technology / Hebei Key Laboratory of Crop Stress Biology, Qinhuangdao 066004; 2. Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences / Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, P. R. China / IPM Innovation Center of Hebei Province / International Science and Technology Joint Research Center on IPM of Hebei Province, Baoding 071000, China)

Abstract: To clarify the control effect of iprodione on maize ear rot caused by *Fusarium verticillioides*, the indoor toxicity of five fungicides including iprodione against *F. verticillioides* was tested by the mycelial growth rate method, and the optimal combination ratio of difenoconazole and iprodione was screened. Additionally, the control efficacy of the new compound agent (12% difenoconazole-iprodione suspension concentrate) against *F. verticillioides* ear rot was evaluated in field. Indoor toxicity tests showed that the EC_{50} values of the triazole fungicides (epoxiconazole, propiconazole, and difenoconazole) against *F. verticillioides* were 0.019–0.045 mg/L, and the EC_{50} values of phenamacril and iprodione were 3.130 mg/L and 4.312 mg/L respectively. The compounding of difenoconazole and iprodione at a mass ratio of 1:3 exhibited a synergistic effect. Field trial indicated that 12% difenoconazole-iprodione suspension concentrate significantly reduced the incidence and proportion of diseased area caused by *F. verticillioides* ear rot, with a control effect of 66.95% on it and a yield increasing rate of 13.34%. The above results showed that iprodione has a certain inhibitory effect on the *F. verticillioides*, and 12% difenoconazole-iprodione suspension concentrate has the effects of preventing *F. verticillioides* ear rot and reducing maize loss in the field.

Key words: Maize; *Fusarium verticillioides*; Ear rot; Iprodione; Difenoconazole

录用日期: 2024-07-01

基金项目: 河北省农林科学院科技创新专项(2022KJ CX-ZBS-2)、国家玉米产业技术体系项目(CARS-02)

作者简介: 赖珏利(1997-), 女, 江西赣州人, 在读硕士, 从事玉米穗腐病防治研究工作。E-mail: laijueli@163.com

石洁与杨娟为本文通信作者。E-mail: shij99@163.com E-mail: yangjuan018@126.com

玉米穗腐病(Maize Ear Rot)是影响玉米产量与品质的重要因素之一,可造成高达40%的产量损失^[1]。拟轮枝镰孢(*Fusarium verticillioides*)是引起玉米穗腐病的优势病原菌^[2-4],其侵染子粒后导致果穗发生霉变腐烂造成减产,而且其产生的次级代谢产物伏马毒素(Fumonisin)具有严重威胁人类和动物健康的潜在风险^[5-6]。有效防控拟轮枝镰孢穗腐病,降低真菌毒素的污染水平,对于提高粮食产能,提升农产品品质,保障国家粮食安全具有重大意义。

生产上大面积推广种植的玉米品种对拟轮枝镰孢穗腐病的抗性普遍较差,化学防治依然是控制该病害发生发展的主要措施。目前,我国尚无登记的用于防治拟轮枝镰孢穗腐病的药剂。有研究表明,三唑类杀菌剂苯醚甲环唑、丙环唑、戊唑醇、丙硫菌唑、叶菌唑等,苯并咪唑类杀菌剂甲基托布津、多菌灵和噻菌灵等,甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂吡唑醚菌酯等对拟轮枝镰孢表现出较强的室内毒力^[7-9]。党晶晶等^[10]测定了6种杀菌剂对拟轮枝镰孢的毒力,其中,多菌灵的毒力最强;其次为苯醚甲环唑和噻菌灵,EC₅₀分别为0.043、0.690和0.905 mg/L。赫丹等^[11]研究表明,叶菌唑对拟轮枝镰孢表现出较强的抑制活性,平均EC₅₀为0.012 mg/L,喷施叶菌唑对玉米穗腐病的田间防效仅为46.05%。龚洛等^[12]测定了7种杀菌剂对拟轮枝镰孢的毒力,其中丙环唑毒力最强;其次为苯醚甲环唑和戊唑醇,EC₅₀分别为0.512、0.631和1.010 mg/L,田间喷施丙环唑对穗腐病的防效仅为45.58%;丙环唑和吡唑醚菌酯复配后对拟轮枝镰孢生长的抑制具有明显的增效作用,可将穗腐病的田间防效提高至74.27%。

以上研究表明,以三唑类为主的杀菌剂依然是生产上防治穗腐病广泛使用的药剂,此类药剂对拟轮枝镰孢的生长表现出较高的室内抑制活性,但对穗腐病的田间防效并不理想,将不同作用机制的药剂进行复配不仅可显著提升防效,还可降低病原菌产生抗药性的风险。因此,在缺乏高效登记药剂的现状下,筛选防治穗腐病的新药剂或新复配组合十分必要。

异菌脲是二甲酰亚胺类广谱、高效触杀型杀菌剂,通过抑制蛋白激酶活性进而阻碍病原菌孢子的萌发和菌丝生长^[13-14],在作用机制上与三唑类杀菌剂有很大不同,而且对玉米穗腐病也表现出较高防效。探索异菌脲对拟轮枝镰孢的抑制效果,将其与三唑类杀菌剂中安全性相对较高的苯醚甲环唑进行

复配,可为拟轮枝镰孢穗腐病的防治提供更多的药剂选择。因此,本研究在明确异菌脲和苯醚甲环唑对拟轮枝镰孢室内毒力的基础上,进一步筛选出二者最佳的复配比例,并评价复配药剂12%苯醚·异菌脲悬浮剂对拟轮枝镰孢穗腐病的田间防治效果以及对玉米产量的影响,为拟轮枝镰孢穗腐病防治药剂的开发和应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试药剂

95%苯醚甲环唑原药、95%氟环唑原药、95%丙环唑原药、12%苯醚·异菌脲悬浮剂、3%苯醚甲环唑悬浮剂及10%异菌脲悬浮剂均由北农(海利)涿州种衣剂有限公司提供及制备;95%氰烯菌酯原药由江苏省农业科学院农产品质量与安全营养研究所提供;98.7%异菌脲原药由天津市汉邦植物保护剂有限责任公司提供。

1.1.2 供试菌株

拟轮枝镰孢由河北省农林科学院植物保护研究所玉米病虫害综合防治研究室分离并鉴定。将纯化的菌株接种于马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA)中央,28℃暗培养,菌落生长接近满皿时用5 mm打孔器打取菌饼。取培养7 d的菌落,用无菌水洗脱分生孢子,过滤菌丝后配制成浓度为2×10⁶个孢子/mL的孢子悬浮液备用。

1.1.3 玉米品种

田间试验所用玉米品种为金博士743,由河南金博士种业股份有限公司提供。

1.2 方法

1.2.1 杀菌剂对拟轮枝镰孢的室内毒力测定

采用菌丝生长速率法测定杀菌剂苯醚甲环唑、氟环唑、丙环唑、氰烯菌酯和异菌脲对拟轮枝镰孢的毒力。原药使用丙酮溶解并配制成质量浓度为1×10⁴ mg/L的母液,用体积分数为0.1%的吐温80水溶液进行系列稀释后与PDA培养基按1:9比例混合均匀制成含药平板培养基。每种药剂设置5个浓度梯度,每个浓度设置4次重复,同时以只加入0.1%吐温80水溶液的PDA培养基为空白对照。各处理接种拟轮枝镰孢菌饼后于28℃暗培养,当空白对照菌落生长接近满皿时,采用十字交叉法测量菌落直径,按照公式计算杀菌剂对拟轮枝镰孢菌丝的生长抑制率,并计算毒力回归方程和EC₅₀值。

$$\text{菌丝生长抑制率} = \frac{\text{对照菌落增长直径} - \text{药剂处理菌落增长直径}}{\text{对照菌落增长直径}} \times 100\%$$

1.2.2 苯醚甲环唑与异菌脲复配增效组合筛选

将上述配制的苯醚甲环唑和异菌脲的母液按照1:1、1:2、1:3、1:4、1:5、1:7、1:10、1:12的质量比进行混合,每个比例再用0.1%吐温80水溶液系列稀释为5~6个梯度浓度。采用1.2.1的方法进行复配药剂对拟轮枝镰孢的毒力测定,并计算毒力回归方程及EC₅₀,参照NY/T 1156.6—2006中的Wadley法^[15]以增效系数(SR)评价其联合作用方式,即SR<0.5为拮抗作用,0.5≤SR≤1.5为相加作用,SR>1.5为增效作用。

1.2.3 杀菌剂对拟轮枝镰孢穗腐病的田间防治试验

田间药效试验在河北省农林科学院植物保护研究所玉米综防研究室试验田进行。试验包括12%苯醚·异菌脲悬浮剂(依据1.2.2筛选的苯醚甲环唑和异菌脲最佳复配比例制备)、3%苯醚甲环唑悬浮剂和10%异菌脲悬浮剂3个药剂处理和空白对照。处理和对照均设置3次重复,每个重复播种4行,行距60 cm,株距25 cm。玉米雌穗吐丝后5 d,将药液均匀喷洒在3个药剂处理的雌穗及棒3叶上,在空白对照的相应部位喷施清水,每个重复只喷施中间两行,外侧两行作为隔离带。药剂的用量分别为12%苯醚·异菌脲悬浮剂900 mL/hm²、3%苯醚甲环唑悬浮剂750 mL/hm²、10%异菌脲悬浮剂3 750 mL/hm²。药剂处理后2 d,每个重复选择长势一致的20个果穗进行人工接种拟轮枝镰孢,并标记接种果穗。调查方法参考李琴瑛等方法^[16],并有所改动。收获后,调

查标记果穗的穗腐病发病率以及发病面积占整穗的比例(发病面积占比);果穗自然风干后调查产量相关性状,其中穗重为含有穗轴的重量,穗粒重为去除穗轴、病粒之后的子粒重,百粒重为百粒中剔除病粒之后的子粒重量。按如下公式计算穗腐病的防治效果和单穗增产率。

$$\text{病害防治效果} = (1 - \frac{\text{处理发病面积占比}}{\text{对照发病面积占比}}) \times 100\%$$
$$\text{单穗增产率} = (\frac{\text{处理穗粒重}}{\text{对照穗粒重}} - 1) \times 100\%$$

1.3 数据处理与分析

使用SPSS 25.0对数据进行统计分析,计算药剂对拟轮枝镰孢的抑制中浓度(EC₅₀)、毒力回归方程以及相关系数,采用Duncan新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 杀菌剂对拟轮枝镰孢的室内毒力

采用菌丝生长速率法测定5种杀菌剂对拟轮枝镰孢的室内毒力。结果表明(表1),三唑类杀菌剂苯醚甲环唑、氟环唑、丙环唑对拟轮枝镰孢的毒力相当,三者的EC₅₀分别为0.045、0.019、0.034 mg/L;氰烯菌酯和异菌脲对拟轮枝镰孢毒力相对较弱,二者EC₅₀分别为3.130 mg/L和4.312 mg/L。由此可见,供试的几种杀菌剂对拟轮枝镰孢的菌丝生长均有一定抑制作用,其中以三唑类杀菌剂的抑制效果最好。

表1 杀菌剂对拟轮枝镰孢的室内毒力
Table 1 Toxicity of fungicides to *Fusarium verticillioides*

杀菌剂 Fungicide	毒力回归方程 Toxic regression equation	EC ₅₀ (mg/L)	95%置信区间(mg/L) 95% confidence interval	相关系数(r) Correlation coefficient
苯醚甲环唑	y=1.36+1.03x	0.045	0.038 ~ 0.054	0.983
氟环唑	y=1.49+0.87x	0.019	0.016 ~ 0.023	0.987
丙环唑	y=1.02+0.69x	0.034	0.026 ~ 0.045	0.972
氰烯菌酯	y=-2.04+4.17x	3.130	3.027 ~ 3.236	0.971
异菌脲	y=-0.96+1.48x	4.312	3.899 ~ 4.771	0.977

2.2 苯醚甲环唑和异菌脲复配对拟轮枝镰孢联合毒力

将苯醚甲环唑和异菌脲按不同有效质量比进行复配,并采用菌丝生长速率法测定各复配组合对拟轮枝镰孢菌丝的联合毒力。表2结果表明,在8组不同有效质量比的复配组合中,苯醚甲环唑与异菌脲只有按1:3的质量比进行复配时,增效系数为2.1,效果评价为增效作用;二者按其他质量比进行复配的组合增效系数为0.5~1.5,效果评价均为相加

作用。

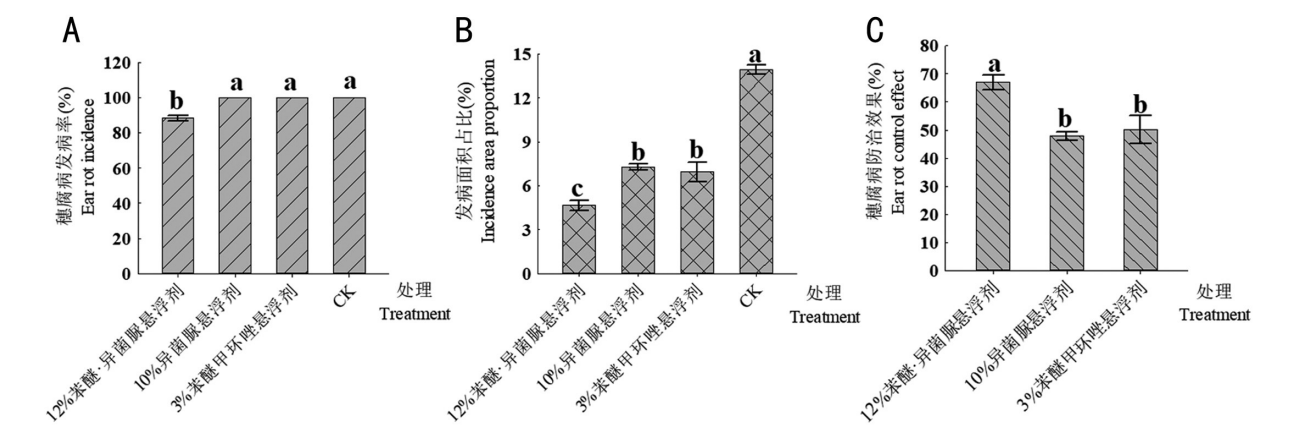
2.3 杀菌剂对穗腐病的防效及对产量的影响

田间评价复配药剂12%苯醚·异菌脲悬浮剂及单剂10%异菌脲悬浮剂和3%苯醚甲环唑悬浮剂对拟轮枝镰孢穗腐病的防治效果。结果表明(图1),12%苯醚·异菌脲悬浮剂处理与两个单剂处理和CK处理相比,可显著降低穗腐病发病率(P<0.05)。3个药剂处理的穗腐病发病面积占比均显著低于CK处理,且12%苯醚·异菌脲悬浮剂处理显著低于两个单

剂处理($P<0.05$)。从对拟轮枝镰孢穗腐病的防效来看,10%异菌脲悬浮剂防效为47.91%,3%苯醚甲环唑悬浮剂防效为50.03%,复配药剂12%苯醚·异菌脲悬浮剂防效为66.95%,较两个单剂有明显提升,且差异显著($P<0.05$)。

表2 苯醚甲环唑和异菌脲不同比例复配组合对拟轮枝镰孢的抑制效果
Table 2 Toxicity of mixture of difenoconazole and iprodione to *F. verticillioides*

苯醚甲环唑:异菌脲 Difenoconazole: Iprodione	毒力方程 Toxic regression equation	EC ₅₀ (mg/L)	相关系数(r) Correlation coefficient	增效系数(SR) Synergic ratio
1:1	$y=0.91+0.88x$	0.094	0.989	0.9
1:2	$y=0.79+0.88x$	0.123	0.995	1.1
1:3	$y=0.69+0.64x$	0.084	0.994	2.1
1:4	$y=0.70+0.87x$	0.145	0.993	1.5
1:5	$y=0.46+0.78x$	0.249	0.998	1.0
1:7	$y=0.24+0.81x$	0.498	0.996	0.7
1:10	$y=0.27+0.74x$	0.433	0.996	1.0
1:12	$y=-0.13+1.09x$	1.094	0.936	0.5



注:A表示12%苯醚·异菌脲悬浮剂、10%异菌脲悬浮剂及3%苯醚甲环唑悬浮剂处理下拟轮枝镰孢穗腐病发病率;B表示12%苯醚·异菌脲悬浮剂、10%异菌脲悬浮剂及3%苯醚甲环唑悬浮剂处理下拟轮枝镰孢穗腐病发病面积占比;C表示12%苯醚·异菌脲悬浮剂、10%异菌脲悬浮剂及3%苯醚甲环唑悬浮剂对拟轮枝镰孢穗腐病防治效果。同一图表中的字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。

Note: A represents the incidence rate of *Fusarium verticillioides* ear rot under the treatments of 12% difenoconazole·iprodione suspension concentrate, 10% iprodione suspension concentrate, and 3% difenoconazole suspension concentrate; B represents the proportion of diseased area of *Fusarium verticillioides* ear rot under the above treatments; C represents the control efficacy of 12% difenoconazole·iprodione suspension concentrate, 10% iprodione suspension concentrate, and 3% difenoconazole suspension concentrate against *Fusarium verticillioides* ear rot. Letters in the same chart indicate significant differences at the $P<0.05$ level as determined by Duncan's new multiple range test.

图1 异菌脲及其复配剂对拟轮枝镰孢穗腐病的田间防效

Fig.1 Control effect of iprodione and its compound agents on *F. verticillioides* ear rot in field

分析复配药剂12%苯醚·异菌脲悬浮剂对玉米产量性状的影响。结果表明(表3),12%苯醚·异菌脲悬浮剂处理的穗长、穗粗、穗行数及秃尖长度与两个单剂处理和CK处理相比,无显著差异($P>0.05$);行粒数和穗重与两个单剂处理无显著差异,显著高于CK处理($P<0.05$);复配药剂处理的穗粒重与3%苯醚甲环唑悬浮剂处理相比,差异不显著,显著高于10%异菌脲悬浮剂处理和CK处理($P<0.05$);所有药剂处理的百粒重均显著高于CK处理($P<$

0.05)。从单穗增产率来看,单剂和复配药剂均有一定增产效果,12%苯醚·异菌脲悬浮剂处理的增产率最高,且显著高于其他两个单剂。

3 结论与讨论

有效防控拟轮枝镰孢穗腐病对于减少玉米产量损失和保障粮食安全至关重要。本研究测定3种常用的三唑类杀菌剂—苯醚甲环唑、氟环唑、丙环唑及2-氰基丙烯酸酯类杀菌剂氰烯菌酯和二甲酰亚胺

表3 异菌脲及其复配剂对玉米产量的影响
Table 3 The effect of iprodione and its compound agents on maize yield

处 理 Treatment	穗长(cm) Ear length	穗粗(cm) Ear diameter	穗行数(行) Rows per ear	行粒数(粒) Kernels per row	秃尖长(mm) Bare top length
12%苯醚·异菌脲悬浮剂	18.52±0.40 a	50.54±0.76 a	17.10±0.15 a	31.63±0.34 a	14.89±0.21 a
10%异菌脲悬浮剂	18.01±0.09 a	50.16±0.31 a	16.71±0.30 a	30.26±0.29 ab	14.09±2.15 a
3%苯醚甲环唑悬浮剂	18.35±0.39 a	49.93±0.60 a	16.65±0.41 a	31.30±0.11 ab	13.47±0.78 a
空白对照(CK)	18.25±0.32 a	50.37±0.22 a	16.87±0.39 a	29.87±0.70 b	16.48±0.61 a

处 理 Treatment	穗重(g) Ear weight	穗粒重(g) Kernel weight per ear	百粒重(g) 100-grain weight	增产率(%) Yield increasing rate
12%苯醚·异菌脲悬浮剂	168.97±1.16 a	144.65±2.74 a	29.10±0.19 a	13.34±2.15 a
10%异菌脲悬浮剂	163.68±1.74 ab	135.27±1.02 bc	28.94±0.26 a	5.99±0.80 b
3%苯醚甲环唑悬浮剂	167.02±2.95 ab	138.67±0.17 ab	28.88±0.24 a	8.66±0.13 b
空白对照(CK)	160.12±2.01 b	127.62±4.39 c	26.88±0.39 b	—

类杀菌剂异菌脲对拟轮枝镰孢的室内毒力,结果表明,三唑类杀菌剂对拟轮枝镰孢表现出较强的毒力,氰烯菌酯和异菌脲的毒力相对较弱,对拟轮枝镰孢的菌丝生长具有一定抑制效果。苯醚甲环唑内吸性较强,在三唑类杀菌剂中安全性相对较高^[17]。异菌脲属于非内吸性杀菌剂,对病原菌有较强的触杀效果。本研究进一步将这两种不同作用机制的药剂进行复配,通过联合毒力测定明确了苯醚甲环唑和异菌脲按1:3的有效质量比复配时,对拟轮枝镰孢的毒力表现出明显的增效作用,说明这一复配组合具有防治拟轮枝镰孢穗腐病的潜力。

基于以上研究结果,进一步通过田间试验评价了异菌脲及其与苯醚甲环唑的复配药剂对拟轮枝镰孢穗腐病的防治效果。结果表明,田间喷施1次剂量为900 mL/hm²的复配药剂12%苯醚·异菌脲悬浮剂,相比喷施单剂的处理和空白对照,可显著降低拟轮枝镰孢穗腐病的发病率和发病面积占比。从防效来看,施用异菌脲和苯醚甲环唑单剂的防效均在50%左右;复配药剂的防效比单剂处理有显著提升,接近70%,防效提升可能与两种单剂的作用机制互补有关。苯醚甲环唑属于治疗剂,内吸性强且具有一定的持效期;异菌脲属于保护剂,可在植物组织表面形成一层保护膜,有效抑制病原菌孢子萌发和菌丝的生长。施用复配药剂后异菌脲首先在玉米花丝表面形成一道屏障,在一定程度上阻止拟轮枝镰孢通过花丝通道的途径侵入,减少穗腐病的发生几率,进而提升了复配药剂的防治效果。此外,从单穗增产率来看,两个单剂处理的增产率为6%~8%,复配药剂增产率为13.34%,相比单剂有显著提升。

不同药剂在不同施药时期和施药剂量下对穗腐

病的防效有所不同。在相同剂量下,抽雄期喷施苯醚甲环唑对穗腐病的防效略高于吐丝期,吐丝期喷施多菌灵的防效略高于抽雄期,在抽雄期和吐丝期两次施药的防效明显高于1次施药的防效^[18]。结合本研究,需进一步优化12%苯醚·异菌脲悬浮剂的施药技术,以确定其最佳施药时期和最佳施药剂量。此外,拟轮枝镰孢穗腐病的发生和病害严重程度与蛀穗害虫的危害密切相关^[19-21],使用杀虫剂或杀虫剂和杀菌剂联合使用可有效防治穗腐病^[22]。后续工作将进一步探索12%苯醚·异菌脲悬浮剂与杀虫剂联合使用的效果,进一步提高对拟轮枝镰孢穗腐病的田间防效。

综上所述,异菌脲对拟轮枝镰孢具有一定的抑制效果,其对拟轮枝镰孢穗腐病的田间防效不是十分理想,其与苯醚甲环唑的复配药剂组合可显著提升对拟轮枝镰孢穗腐病的防效,同时还具有一定增产效果,可作为防治拟轮枝镰孢穗腐病的候选药剂。

参考文献:

[1] 任金平. 玉米穗腐病研究进展[J]. 吉林农业科学, 1993(3): 39-43, 60.
REN J P. Research progress on maize ear rot[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1993(3): 39-43, 60. (in Chinese)
[2] 秦子惠,任旭,江凯,等. 我国玉米穗腐病致病镰孢种群及禾谷镰孢复合种的鉴定[J]. 植物保护学报, 2014, 41(5): 589-596.
QIN Z H, REN X, JIANG K, et al. Identification of *Fusarium* species and *F. graminearum* species complex causing maize ear rot in China [J]. Journal of Plant Protection, 2014, 41(5): 589-596. (in Chinese)
[3] 孙华,张海剑,郭宁,等. 黄淮海夏玉米主产区穗腐病病原菌的分离鉴定[J]. 植物保护学报, 2017, 44(5): 796-802.
SUN H, ZHANG H J, GUO N, et al. Isolation and identification of pathogens causing maize ear rot in Huang-Huai-Hai summer corn region[J]. Journal of Plant Protection, 2017, 44(5): 796-802. (in Chi-

- nese)
- [4] 孙华,丁梦军,张家齐,等.河北省玉米穗腐病原菌鉴定及潜在产伏马毒素镰孢菌系统发育分析[J].植物病理学报,2019,49(2): 151-159.
SUN H, DING M J, ZHANG J Q, et al. Identification of pathogens causing maize ear rot and the phylogenetic analysis of fumonisins-producing *Fusarium* species in Hebei province[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2019, 49(2): 151-159. (in Chinese)
 - [5] 段灿星,王晓鸣,宋风景,等.玉米抗穗腐病研究进展[J].中国农业科学,2015,48(11):2152-2164.
DUAN C X, WANG X M, SONG F J, et al. Advances in research on maize resistance to ear rot[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(11): 2152-2164. (in Chinese)
 - [6] SANTIAGO R, CAO A N, MALVAR R A. Genomics of maize resistance to *Fusarium* ear rot and fumonisin contamination[J]. Toxins (Basel), 2020, 12(7): 431.
 - [7] 尤建业.玉米拟轮枝镰孢穗腐病原鉴定和对丙硫菌唑的敏感性[D].合肥:安徽农业大学,2022.
 - [8] 隋韵涵,肖淑芹,董雪,等.九种杀菌剂对 *Fusarium verticillioides* 和 *F. graminearum* 毒力及玉米穗腐病的防治效果[J].玉米科学,2014,22(2):145-149.
SUI Y H, XIAO S Q, DONG X, et al. Toxicity and field control effect of nine fungicides against *Fusarium* ear rot[J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(2): 145-149. (in Chinese)
 - [9] 郭聪聪,付萌,庞民好,等.杀菌剂对玉米穗腐病菌的毒力及毒素产生的影响[J].植物保护学报,2015,42(6):1036-1043.
GUO C C, FU M, PANG M H, et al. Effects of fungicides on growth and mycotoxins of *Fusarium* species causing maize ear rot[J]. Journal of Plant Protection, 2015, 42(6): 1036-1043. (in Chinese)
 - [10] 党晶晶,许文超,王亚楠,等.6种杀菌剂对玉米穗腐病的防治效果[J].河北农业科学,2017,21(4):49-51.
DANG J J, XU W C, WANG Y N, et al. Control effects of six fungicides on maize kernel rot[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2017, 21(4): 49-51. (in Chinese)
 - [11] 赫丹,徐剑宏,仇剑波,等.叶菌唑对轮枝镰刀菌的活性及作用机制[J].农药学报,2023,25(2):353-363.
HE D, XU J H, QIU J B, et al. Activity and mechanism of metconazole against *Fusarium verticillioides*[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2023, 25(2): 353-363. (in Chinese)
 - [12] 龚洛,邓佳辉,焦芹,等.玉米穗腐病防治药剂的室内毒力测定及田间防效[J].植物保护,2022,48(6):379-386.
GONG L, DENG J H, JIAO Q, et al. Determination of indoor toxicity and field control effect of fungicides against maize ear rot[J]. Plant Protection, 2022, 48(6): 379-386. (in Chinese)
 - [13] 卢伟.桂花一种叶斑病原菌鉴定及生物学特性研究[D].洛阳:河南科技大学,2013.
 - [14] 夏丽娟,万莉,任丹.吡唑醚菌酯与异菌脲复配对番茄炭疽病的联合生物活性及田间防效[J].农药,2022,61(8):603-606,624.
XIA L J, WAN L, REN D, et al. The combined bioactivity and field effects of the combination of pyraclostrobin and iprodione against *Colletotrichum lycopersici*[J]. Agrochemicals, 2022, 61(8): 603-606, 624. (in Chinese)
 - [15] NY/T 1156.6-2006,农药室内生物测定试验准则 杀菌剂 第6部分:混配的联合作用测定[S].北京:中华人民共和国农业部,2006.
 - [16] 李琴理,石洁,何康来,等.化学防控玉米蛀穗害虫对减轻拟轮枝镰孢穗腐病及伏马毒素的作用[J].中国农业科学,2021,54(17):3702-3711.
LI Q C, SHI J, HE K L, et al. Effects of chemical control of ear borers on reducing *Fusarium verticillioides* ear rot and fumonisin level [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(17): 3702-3711. (in Chinese)
 - [17] 尹可锁,郑泗军,徐胜涛,等.香蕉叶斑病防控药剂及关键施用期的综合效应分析[J].中国南方果树,2019,48(1):16-19.
YIN K S, ZHENG S J, XU S T, et al. Analysis of the comprehensive effects of chemical agents and key application periods for the prevention and control of banana leaf spot disease[J]. South China Fruits, 2019, 48(1): 16-19. (in Chinese)
 - [18] 陈万斌,李荣荣,何康来,等.杀虫剂和杀菌剂联合施用对玉米穗腐病田间防效和玉米产量的影响[J].植物保护学报,2019,46(5):1161-1162.
CHEN W B, LI R R, HE K L, et al. Effects of different fungicide and insecticide combinations on control effect of corn ear rot and yield[J]. Journal of Plant Protection, 2019, 46(5): 1161-1162. (in Chinese)
 - [19] 杨硕,石洁,张海剑,等.桃蛀螟危害夏玉米果穗对产量的影响[J].植物保护学报,2015,42(6):991-996.
YANG S, SHI J, ZHANG H J, et al. Impacts of durian fruit borer *Conogethes punctiferalis* on yield loss of summer corn by injuring corn ears[J]. Journal of Plant Protection, 2015, 42(6): 991-996. (in Chinese)
 - [20] LI Q C, SHI J, HUANG C L, et al. Roles of ear injury, infestation, and vector activity by *Ostrinia furnacalis* (Asian Corn Borer) and *Conogethes punctiferalis* (Yellow Peach Moth) in *Fusarium verticillioides* infection and kernel fumonisin level[J]. Phytopathology, 2023, 113(10): 1867-1875.
 - [21] 刘玥,李荣荣,何康来,等.桃蛀螟危害对春玉米镰孢穗腐病发生及产量损失的影响[J].昆虫学报,2017,60(5):576-581.
LIU Y, LI R R, HE K L, et al. Effects of *Conogethes punctiferalis* (Lepidopteran:Crambidae) infestation on the occurrence of *Fusarium* ear rot and the yield loss of spring corn[J]. Acta Entomologica Sinica, 2017, 60(5): 576-581. (in Chinese)
 - [22] MADEGE R R, AUDENAERT K, KIMANYA M, et al. Control of *Fusarium verticillioides* (Sacc.) nirenberg and fumonisins by using a combination of crop protection products and fertilization[J]. Toxins (Basel). 2018, 10(2): 67.

(责任编辑:姜媛媛)