

# 丙环唑和吡唑醚菌酯对假禾谷镰刀菌的联合毒力研究

石燕超<sup>1,2</sup>, 郑新月<sup>1</sup>, 杨 执<sup>1</sup>, 余欣宇<sup>1</sup>, 王 佳<sup>3</sup>, 李卫国<sup>1,2</sup>, 刘润强<sup>1,2\*</sup>,  
周 锋<sup>1,2\*</sup>

(1. 河南科技学院植物保护与环境学院, 河南 新乡 453003; 2. 河南省绿色农药创制与智能传感监测工程技术研究中心 河南 新乡, 453003; 3. 河南科技学院百泉现代农业研究院, 河南 新乡 453003)

**摘要:**由假禾谷镰刀菌为优势致病菌引起的小麦茎基腐病是世界范围内的重要病害。目前,小麦茎基腐病是以化学药剂防控为主。但是长期使用化学药剂会使有害生物产生抗药性,杀菌剂复配是减缓抗药性的有效手段。本研究通过开展丙环唑和吡唑醚菌酯不同比例复配药剂对菌丝生长、孢子萌发、菌丝微观形态观察和室内防效等试验,以期得到对小麦茎基腐病高效防控的复配比例。研究表明,在抑制菌丝生长方面,丙环唑和吡唑醚菌酯的复配比例为9:1时对假禾谷镰刀菌具有增效作用,4:6和7:3时为相加作用;在抑制孢子萌发方面,丙环唑和吡唑醚菌酯的复配比例为4:6时对假禾谷镰刀菌为增效作用,2:8、3:7、5:5、6:4、7:3和9:1时为相加作用。此外,室内防效试验结果表明,丙环唑和吡唑醚菌酯的复配比例为4:6时对小麦茎基腐病的防治效果最佳,达70.45%。本研究结果为小麦茎基腐病的有效防控提供理论支撑,对保障小麦安全生产具有重要的意义。

**关键词:**假禾谷镰刀菌;小麦茎基腐病;丙环唑;吡唑醚菌酯;联合毒力测定;室内防效

中图分类号:S482.2

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2025)06-0088-08

## Joint Toxicity of Propiconazole and Pyraclostrobin against *Fusarium pseudograminearum*

SHI Yanchao<sup>1,2</sup>, ZHENG Xinyue<sup>1</sup>, YANG Zhi<sup>1</sup>, YU Xinyu<sup>1</sup>, WANG Jia<sup>3</sup>, LI Weiguo<sup>1,2</sup>, LIU Runqiang<sup>1,2\*</sup>,  
ZHOU Feng<sup>1,2\*</sup>

(1. School of Plant Protection and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003; 2. Henan Engineering Research Center of Green Pesticide Creation and Pesticide Residue Monitoring by Intelligent Sensor, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003; 3. Baiquan Institute of Modern Agriculture and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China)

**Abstract:** *Fusarium* crown rot (FCR) caused by *Fusarium pseudograminearum* is an important disease worldwide. At present, the prevention and control of FCR is mainly based on chemical control. However, long-term use of chemicals will cause pests to develop resistance, and fungicide compounding is an effective means to slow down resistance. In this study, the effects of different proportions of propiconazole and pyraclostrobin on mycelial growth, spore germination, mycelial micromorphology observation and indoor control effect were carried out in order to obtain the best compound ratio with excellent control effect on FCR. The results showed that in terms of mycelial growth inhibition, the combination of propiconazole and pyraclostrobin at a ratio of 9 : 1 had a synergistic effect on *F. pseudograminearum*, and 4 : 6 and 7 : 3 were additive. In terms of spore germination inhibition, the combination of propiconazole and pyraclostrobin at a ratio of 4 : 6 had a synergistic effect on *F. pseudograminearum*, and 2 : 8, 3 : 7, 5 : 5, 6 : 4, 7 : 3 and 9 : 1 were additive effects. In addition, the indoor control effect test

收稿日期:2025-03-14

基金项目:河南省高校科技创新人才支持计划项目(24HASTTT059);河南省重大科技专项(251100110300);河南省博士后科研资助项目(HN2022109)

作者简介:石燕超(2001-),男,在读硕士,主要从事有害生物化学防控研究。

通信作者:刘润强, E-mail: liurunqiang1983@126.com

周 锋, E-mail: zfhist@163.com

results showed that when the ratio of propiconazole and pyraclostrobin was 4 : 6, the control effect on FCR was the best, which was 70.45 %. The research results provide data support for the effective prevention and control of FCR, which is of great significance to ensure the safe production of wheat.

**Key words:** *Fusarium pseudograminearum*; *Fusarium* crown rot; Propiconazole; Pyraclostrobin; Co-toxicity de-termination; Indoor control effect

由假禾谷镰刀菌(*Fusarium pseudograminearum*)为优势致病菌引起的小麦茎基腐病(*Fusarium* crown rot FCR)已成为一种世界性小麦病害<sup>[1]</sup>。2012年小麦茎基腐病在我国首次被发现并报道,随后在河南省、陕西省和山东省等地扩展,并不断蔓延<sup>[2-4]</sup>。小麦茎基腐病是一种典型的土传病害,在中国的发生为多种镰刀属真菌复合侵染所致,其中假禾谷镰刀菌是优势致病菌<sup>[5]</sup>。目前,推广的小麦品种中,感病品种占80%以上,抗茎基腐病的小麦品种极其缺乏<sup>[6]</sup>。农业防治在小麦茎基腐病发生前期有一定作用,但当小麦茎基腐病大流行时,达不到防治和延缓病害发生的作用,化学防治是首先采取的应急防控手段<sup>[7]</sup>。化学药剂在生产上对植物病害可有效防控,但是在防治过程中长期单一和不当的使用,会使病原菌产生抗药性,严重影响药剂的使用周期<sup>[8]</sup>。复配药剂对小麦茎基腐病产生抗药性有减缓效果,并且对小麦产量增加至关重要。赵明等<sup>[9]</sup>研究发现,多效唑与诱抗剂互作对香蕉苗生长及抗枯萎病能力有增强作用;杨胜雨等<sup>[10]</sup>研究发现,生防菌代谢物与杀菌剂复配对花生褐斑病菌有较好的抑菌活性。参考前期数据,选取了丙环唑和吡唑醚菌酯两个单剂。丙环唑(Propiconazole)为浅黄色至浅棕色黏稠液体,分子式为 $C_{15}H_{17}Cl_2N_3O_2$ ,可以通过抑制病原菌的14 $\alpha$ -去甲基化酶,阻断麦角甾醇的合成,从而破坏细胞膜结构<sup>[11]</sup>,用于防治多种真菌引起的植物病害。吡唑醚菌酯(Pyra-clostrobin)具有良好的抑菌活性,可防治多种植物病害<sup>[12]</sup>。其作用机制为干扰线粒体的呼吸作用,阻碍三磷酸腺苷的产生,从而破坏能量合成,达到抑制或杀死真菌的效果<sup>[13]</sup>。在中国农药信息网中查询发现,丙环唑和吡唑醚菌酯复配药剂主要防治对象为香蕉叶斑病和苹果褐斑病,尚未见用于防治小麦茎基腐病的报道。本研究探讨丙环唑与吡唑醚菌酯复配剂对假禾谷镰刀菌的防治效果,以期小麦茎基腐病的有效防控及小麦优质高产提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试培养基及其制备方法

马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA):马铃薯 200 g、

琼脂 17 g、葡萄糖 20 g,加水定容至 1 L。

羧甲基纤维素钠液体培养基(CMC):羧甲基纤维素钠 15 g、磷酸二氢钾 1 g、硝酸铵 1 g、酵母提取物 1 g、七水硫酸镁 0.5 g,加水定容至 1 L。

### 1.2 供试菌株、杀菌剂及室内毒力测定

试验所用菌株为假禾谷镰刀菌 SQ-1,来自河南省商丘市小麦病株,经分离、纯化和鉴定后实验室保存。

供试杀菌剂原药,95%丙环唑、95%吡唑醚菌酯、95.90%粉唑醇(Flutriafol)、97%多菌灵(Carben-dazim)和 95%戊唑醇(Tebuconazole)原药均购自广西田园生化股份有限公司,以丙酮作为溶剂配制母液备用。

按照邢星等<sup>[14]</sup>的方法进行室内毒力测定,稍有改动。即分别制作含供试杀菌剂的 PDA 培养基平板,浓度梯度为 0、0.025、0.050、0.100、0.200、0.400、0.800、1.600、3.200  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,以未加药平板作为对照,用打孔器在 PDA 培养皿中长满假禾谷镰刀菌的菌落边缘制取直径为 7 mm 的菌丝块。待平板凝固后,将菌丝块的菌丝面朝下放置于平板中央,每个浓度设置 3 次重复。在 25  $^{\circ}\text{C}$  恒温培养箱中培养,待未加药平板中假禾谷镰刀菌长满培养皿 90% 时,运用十字交叉法测定各处理菌落直径,计算抑制率及  $\text{EC}_{50}$  值。

### 1.3 室内联合毒力测定

按照朱峰等<sup>[15]</sup>的方法进行室内联合毒力测定,稍有改动。将丙环唑和吡唑醚菌酯按照质量比 1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2、9:1 的比例,以丙酮为溶剂配制复配杀菌剂母液备用,PDA 含药平板浓度梯度为 0、0.025、0.050、0.100、0.200、0.400、0.800、1.600、3.200  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ,试验过程同 1.2。最终计算出毒力指数(TI)、复配药剂实际毒力指数(ATI)、复配药剂理论毒力指数(TTI)和共毒系数(CTC),采用孙云沛共毒系数法,评价混配药剂的作用类型( $\text{CTC}>120$  表示增效作用, $80<\text{CTC}\leq 120$  表示相加作用, $\text{CTC}\leq 80$  表示拮抗作用)。

计算公式如下:

毒力指数(TI)=标准药剂的  $\text{EC}_{50}$  值/供试药剂的  $\text{EC}_{50}$  值 $\times 100$ ,

混剂实际毒力指数(ATI)=标准药剂的 $EC_{50}$ 值/供试药剂的 $EC_{50}$ 值 $\times 100$ ,

复配药剂理论毒力指数(TTI)=药剂A的毒力指数 $\times$ 复配药剂中药剂A的百分含量+药剂B的毒力指数 $\times$ 复配药剂中药剂B的百分含量,

共毒系数(CTC)=ATI/TTI $\times 100$ 。

#### 1.4 孢子萌发试验

按照韩丹等<sup>[16]</sup>的方法进行孢子萌发试验,稍有改动。主要试验步骤如下:在长满假禾谷镰刀菌的PDA培养皿菌落边缘取直径为7 mm的新鲜菌饼,将6个菌饼全部加入100 mL CMC培养基中,25 °C摇床150 r/min,摇培2 d后,制备浓度为 $1 \times 10^5$ 个/mL孢子悬浮液。并按照1.2的方法制备各比例复配药剂的母液备用,设置药剂浓度为0、0.025、0.050、0.100、0.200、0.400、0.800、1.600、3.200  $\mu\text{g/mL}$ 的含药培养基(CMC培养基加入2%葡萄糖)。在培养基中加入相同体积孢子液和相应剂量的杀菌剂,以不加药剂只加孢子液的CMC培养基为对照,以孢子芽管长度大于短半径为萌发,当对照组孢子萌发率达到90%以上时,在显微镜下随机观察100个孢子数,统计孢子萌发情况,每处理3次重复。数据处理方法及不同复配杀菌剂比例所求数据同1.3,并用孙云沛共毒系数法,评价复配药剂的作用类型(增效、相加和拮抗)。

#### 1.5 菌丝观察试验

按照张晓尘等<sup>[17]</sup>的方法进行菌丝观察试验,稍有改动。按照丙环唑、吡唑醚菌酯单剂、丙环唑和吡唑醚菌酯不同比例复配药剂的 $EC_{50}$ 值,制备含药平板,将活化菌株用打孔器取直径为7 mm的菌饼接种在插有盖玻片的含药PDA平板上避光培养,待菌丝生长到盖玻片的1/3面积后,将盖玻片置于载玻片上制成临时玻片,在显微镜下观察丙环唑、吡唑醚菌酯单剂和丙环唑、吡唑醚菌酯不同比例复配药剂对假禾谷镰刀菌菌丝形态的影响。

#### 1.6 室内防效试验

按照Liu等<sup>[18]</sup>的方法进行室内防效试验,稍有改动。即按照1.4的方法制备 $1 \times 10^5$ 个/mL的孢子悬浮液。该室内防效试验所用小麦品种为百农207(由河南科技学院欧行奇教授馈赠),根据复配所获得的 $EC_{50}$ 值来设置加药剂量,同时设置清水、孢子液、单剂组与复配药剂组验证复配药剂的防效。试验步骤如下:首先将萌发的小麦种子分别浸在丙环唑、吡唑醚菌酯、戊唑醇、多菌灵、粉唑醇单剂和丙环唑、吡唑醚菌酯不同比例复配药剂中,5 s后晾干使种子表面形成一层药膜,然后用移液枪移取5  $\mu\text{L}$ 浓度为 $1 \times 10^5$ 个/mL孢子悬浮液接种至小麦胚芽鞘上,接种后放置于25 °C培养室中,保持相对湿度为80%,光暗交替(光照12 h,黑暗12 h)培养14 d,随后测量从胚芽鞘发病基部到病害浅处的病斑侵染长度,并求其平均值,以此得出不同处理下的防治效果。

#### 1.7 数据处理与分析

使用Excel 2016和SPSS 20.0软件进行毒力回归方程、相关系数 $R^2$ 、 $EC_{50}$ 值和 $EC_{95}$ 值的统计,并进行显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 供试杀菌剂和不同比例复配药剂毒力测定

由表1可知,丙环唑、吡唑醚菌酯单剂对供试假禾谷镰刀菌(SQ-1)的 $EC_{50}$ 值分别为0.128、0.059  $\mu\text{g/mL}$ ,其他供试杀菌剂及不同比例复配杀菌剂对小麦茎基腐病也有很好的防治效果。丙环唑和吡唑醚菌酯不同比例复配药剂对假禾谷镰刀菌菌丝生长的抑制效果优于多菌灵和粉唑醇,略差于戊唑醇。丙环唑和吡唑醚菌酯不同比例复配药剂的 $EC_{50}$ 值均在0.070~0.200  $\mu\text{g/mL}$ 之间,其中效果最好的复配比例为7:3和9:1,效果最差的复配比例为6:4。

表1 供试杀菌剂和不同比例复配药剂对假禾谷镰刀菌的毒力测定

Table 1 Toxicity determination of test fungicides and compound fungicides with different proportions against *F. pseudograminearum*

药剂/复配比例 Agent / proportion	$EC_{50}/\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	$EC_{95}/\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	相关系数 $R^2$	毒力回归方程(Y=) Regression equation(Y=)
丙环唑	0.128	5.582	0.966	$0.88+0.99x$
吡唑醚菌酯	0.059	54.943	0.965	$0.70+0.57x$
戊唑醇	0.049	0.525	0.941	$2.06+1.60x$
多菌灵	0.866	1.280	0.990	$0.57+9.49x$

续表 1

Table 1 Continued

药剂/复配比例 Agent / proportion	EC <sub>50</sub> /μg·mL <sup>-1</sup>	EC <sub>95</sub> /μg·mL <sup>-1</sup>	相关系数 R <sup>2</sup>	毒力回归方程(Y=) Regression equation(Y=)
粉唑醇	0.532	28.563	0.956	0.26+0.93x
丙环唑 1:吡唑醚菌酯 9	0.096	37.705	0.985	0.66+0.64x
丙环唑 2:吡唑醚菌酯 8	0.162	55.507	0.915	0.53+0.67x
丙环唑 3:吡唑醚菌酯 7	0.098	60.898	0.964	0.61+0.60x
丙环唑 4:吡唑醚菌酯 6	0.094	50.347	0.985	0.63+0.61x
丙环唑 5:吡唑醚菌酯 5	0.153	57.484	0.927	0.45+0.55x
丙环唑 6:吡唑醚菌酯 4	0.185	30.494	0.982	0.55+0.75x
丙环唑 7:吡唑醚菌酯 3	0.079	82.960	0.960	0.61+0.55x
丙环唑 8:吡唑醚菌酯 2	0.134	61.166	0.943	0.55+0.63x
丙环唑 9:吡唑醚菌酯 1	0.079	36.495	0.988	0.69+0.62x

## 2.2 丙环唑和吡唑醚菌酯药剂复配对假禾谷镰刀菌菌丝的室内联合毒力测定

由表 2 可知,丙环唑和吡唑醚菌酯复配比例为 9:1 时,共毒系数最高,为 145.06,大于 120,二者复配表现为增效作用。复配比例为 4:6 和 7:3 时的共毒系数分别为 80.02 和 119.94,介于 80~120

之间,表现为相加作用,其余复配比例均为拮抗作用。复配比例为 9:1 产生增效作用的原因可能为丙环唑剂量高时对病菌的细胞膜造成破坏,促进了吡唑醚菌酯发生作用,其复配比例 9:1(增效作用)、8:2(接近相加作用)和 7:3(相加作用)均有相关趋势。

表 2 丙环唑和吡唑醚菌酯不同复配比例对假禾谷镰刀菌菌丝的室内联合毒力测定

Table 2 Determination of indoor joint toxicity of different proportions of propiconazole and pyraclostrobin to *Fusarium pseudograminearum* mycelium.

药剂/复配比例 Agent / proportion	EC <sub>50</sub> /μg·mL <sup>-1</sup>	实测药剂毒力指数 ATI	混剂理论毒力指数 TTI	共毒系数 CTC
丙环唑	0.128	46.09	/	/
吡唑醚菌酯	0.059	100.00	/	/
丙环唑 1:吡唑醚菌酯 9	0.096	61.46	94.61	64.96
丙环唑 2:吡唑醚菌酯 8	0.162	36.42	89.22	40.82
丙环唑 3:吡唑醚菌酯 7	0.098	60.20	83.83	71.82
丙环唑 4:吡唑醚菌酯 6	0.094	62.77	78.44	80.02
丙环唑 5:吡唑醚菌酯 5	0.153	38.56	73.05	52.79
丙环唑 6:吡唑醚菌酯 4	0.185	31.89	67.66	47.14
丙环唑 7:吡唑醚菌酯 3	0.079	74.68	62.27	119.94
丙环唑 8:吡唑醚菌酯 2	0.134	44.03	56.88	77.42
丙环唑 9:吡唑醚菌酯 1	0.079	74.68	51.48	145.06

## 2.3 丙环唑和吡唑醚菌酯药剂复配对假禾谷镰刀菌孢子萌发的联合毒力测定

由表 3 可知,丙环唑和吡唑醚菌酯对孢子萌发的 EC<sub>50</sub> 值分别为 0.133、0.091 μg/mL,且当所有复配组合的浓度到达 1.600 μg/mL 和 3.200 μg/mL 时,供试假禾谷镰刀菌分生孢子萌发均完全被抑制,表明其对假禾谷镰刀菌具有很好的防治潜

力。丙环唑和吡唑醚菌酯复配比例为 4:6 时,抑制孢子萌发效果优于丙环唑和吡唑醚菌酯单剂。当丙环唑和吡唑醚菌酯复配比例为 2:8、3:7、5:5、6:4、7:3 和 9:1 时对假禾谷镰刀菌的 CTC 分别为 104.45、85.19、104.92、81.95、96.55 和 89.53,均表现为相加作用;当二者的复配比例为 4:6 时对假禾谷镰刀菌的 CTC 为 135.27,表现为增效作用。

表3 丙环唑和吡唑醚菌酯不同复配比例对假禾谷镰刀菌孢子萌发的联合毒力测定

Table 3 The synergistic test of different compounding ratios of propiconazole and pyraclostrobin on the spores of *F. pseudograminearum* was determined

药剂/复配比例 Agent / proportion	EC <sub>50</sub> /μg·mL <sup>-1</sup>	实测药剂毒力指数 ATI	混剂理论毒力指数 TTI	共毒系数 CTC
丙环唑	0.133	68.42	/	/
吡唑醚菌酯	0.091	100.00	/	/
丙环唑1:吡唑醚菌酯9	0.118	77.12	96.84	79.63
丙环唑2:吡唑醚菌酯8	0.093	97.85	93.68	104.45
丙环唑3:吡唑醚菌酯7	0.118	77.12	90.53	85.19
丙环唑4:吡唑醚菌酯6	0.077	118.18	87.37	135.27
丙环唑5:吡唑醚菌酯5	0.103	88.35	84.21	104.92
丙环唑6:吡唑醚菌酯4	0.137	66.42	81.05	81.95
丙环唑7:吡唑醚菌酯3	0.121	75.21	77.90	96.55
丙环唑8:吡唑醚菌酯2	0.177	51.41	74.74	68.79
丙环唑9:吡唑醚菌酯1	0.142	64.08	71.58	89.53

综上所述,除复配比例为8:2(CTC为68.79)为拮抗作用外,其余复配药剂比例对孢子萌发具有较好的抑制能力,且均为相加或增效作用。

#### 2.4 假禾谷镰刀菌菌丝微观形态观察结果与分析

由图1可以看出,在未加药对照组中可以明显地观察到菌丝粗短、生长活力强且前端生长势明显,

但不管是单剂组还是复配药剂组,其菌丝均生长畸形、裂解,同时出现了菌丝末端分支减少和菌丝生长活力下降。当复配比例为4:6时,菌丝的前端细长、裂解;复配比例为7:3时,菌丝生长过程中出现畸形;复配比例为9:1时,菌丝出现弯曲生长,复配比例为4:6和复配比例为7:3时,菌丝部分透明化。

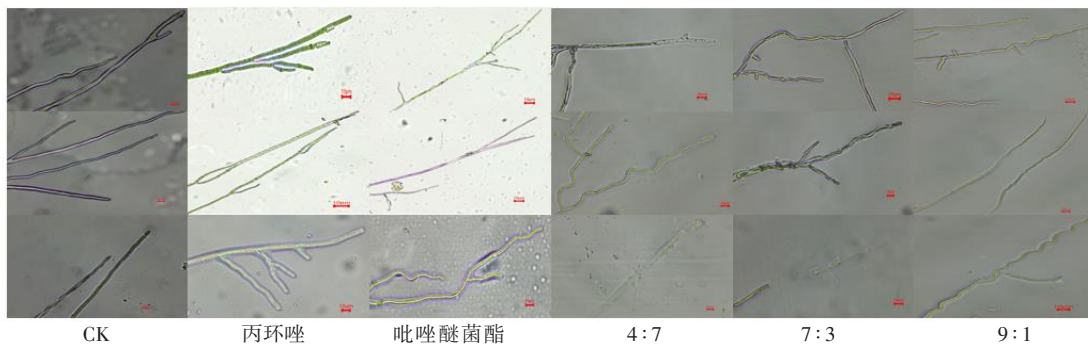


图1 丙环唑和吡唑醚菌酯及其不同复配比例对假禾谷镰刀菌菌丝生长的影响

Fig 1 Effects of propiconazole, pyraclostrobin and their different ratios on mycelial growth of *F. pseudograminearum*

#### 2.5 不同供试药剂和复配药剂室内盆栽试验

由表4可知吡唑醚菌酯、丙环唑、戊唑醇、多菌灵、粉唑醇及丙环唑和吡唑醚菌酯各比例复配药剂对小麦茎基腐病的防治效果。结果表明,当复配比例为4:6、5:5、7:3和9:1时防治效果分别为70.45%、66.48%、67.36%和68.75%,均高于丙环唑和吡唑醚菌酯单剂的防治效果(40.91%和41.29%),其他复配组合也表现出较好的防治效果。

### 3 讨论

由假禾谷镰刀菌引起的小麦茎基腐病是一种真菌病害,在我国小麦主产区普遍发生,已成为小麦生产中的主要病害之一<sup>[19]</sup>。目前生产上以化学防治为主<sup>[20-21]</sup>。利用两种药剂复配开发新药剂,可为小麦茎基腐病防治提供更多的选择。本研究开展了丙环唑和吡唑醚菌酯对假禾谷镰刀菌的抑菌试验,结果表明,丙环唑和吡唑醚菌酯对

表4 不同药剂及复配药剂对小麦茎基腐病的防治效果  
Table 4 The control effect of different agents and compound agents on FCR

药剂/复配比例 Agent/proportion	防效/% Control effect	药剂/复配比例 Agent/proportion	防效/% Control effect
吡唑醚菌酯	41.29ef	丙环唑 3:吡唑醚菌酯 7	51.82c
丙环唑	40.91ef	丙环唑 4:吡唑醚菌酯 6	70.45a
戊唑醇	44.41de	丙环唑 5:吡唑醚菌酯 5	66.48a
多菌灵	35.71f	丙环唑 6:吡唑醚菌酯 4	56.61ab
粉唑醇	42.05ef	丙环唑 7:吡唑醚菌酯 3	67.36a
丙环唑 1:吡唑醚菌酯 9	49.55cd	丙环唑 8:吡唑醚菌酯 2	59.74b
丙环唑 2:吡唑醚菌酯 8	40.91ef	丙环唑 9:吡唑醚菌酯 1	68.75a

注:小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences( $P<0.05$ ).

假禾谷镰刀菌菌丝生长具有很好的抑菌活性,其 $EC_{50}$ 值分别为 $0.128 \mu\text{g/mL}$ 和 $0.059 \mu\text{g/mL}$ ,这与陈宏州等<sup>[22]</sup>测定丙环唑对小麦赤霉病的 $EC_{50}$ 的范围和Hou等<sup>[23]</sup>测定吡唑醚菌酯对小麦茎基腐病的 $EC_{50}$ 均相差近一半,但仍可说明丙环唑和吡唑醚菌酯两种药剂对防治假禾谷镰刀菌具有很好的抑制效果。这种差异可能源于不同区间的施药方式、用药量、用药次数以及使用年限不同所导致。同时,丙环唑和吡唑醚菌酯对假禾谷镰刀菌分生孢子萌发阶段的 $EC_{50}$ 值分别为 $0.133 \mu\text{g/mL}$ 和 $0.091 \mu\text{g/mL}$ ,表明丙环唑和吡唑醚菌酯对假禾谷镰刀菌分生孢子萌发也具有较强的抑制能力。

现有研究表明,丙环唑和吡唑醚菌酯对多种植物病害防治效果均显著。如Alireza<sup>[24]</sup>和刘世江<sup>[25]</sup>等分别对大麦网斑病菌和水稻纹枯病菌进行敏感性测定,结果表明,丙环唑和吡唑醚菌酯表现出较高的抑制能力。药剂复配可通过不同作用机制协同作用于病原菌,有助于延缓抗药性发展。李聪聪等<sup>[26]</sup>研究表明,咯菌腈和戊唑醇在复配比例为1:7时对假禾谷镰刀菌表现出较好的抑制效果;王鑫雨等<sup>[27]</sup>研究表明,叶菌唑和氟啶胺在质量比为5:1时对假禾谷镰刀菌的增效作用最强。其次,防效试验可以直观地比较单剂和复配药剂,而孢子悬浮液水培胚芽鞘接种法适合于药剂的初筛,更接近田间自然发病条件,操作简便<sup>[28]</sup>。李梦雨等<sup>[29]</sup>研究发现,己唑醇与氟唑菌酰胺按质量比1:5复配后,对假禾谷镰刀菌的防效为93.93%,显著高于同剂量的两个单剂;海飞等<sup>[30]</sup>研究表明,吡唑醚菌酯与氟环唑药剂复配防治小麦叶锈病,防效可达85.12%;王诗然等<sup>[31]</sup>研究表明,丙环唑与啞菌酯复配防治人参黑斑病,防

效可超过86%。本研究中,当丙环唑和吡唑醚菌酯的复配比例为4:6和7:3时,对假禾谷镰刀菌菌丝生长抑制能力均表现为相加作用,9:1时表现为增效作用。通过菌丝微观形态观察,发现复配药剂(4:6、7:3和9:1)与对照组(CK)相比,造成了菌丝生长畸形、弯曲、透明化等现象,可能是由于丙环唑和吡唑醚菌酯对病原真菌的细胞膜结构的形成起阻碍作用,当细胞膜形成缓慢或者不完全时,可能会导致细胞膜的完整性及通透性发生变化<sup>[32]</sup>。防效试验表明,丙环唑和吡唑醚菌酯复配比例为4:6时对小麦茎基腐病的防治效果最佳,为70.45%。表明该复配组合在生产中具有一定的应用潜力。

## 4 结论

本研究开展了丙环唑和吡唑醚菌酯对假禾谷镰刀菌的联合毒力测定并进一步探究了丙环唑和吡唑醚菌酯复配药剂对小麦茎基腐病的室内防治效果。结果表明,当丙环唑和吡唑醚菌酯复配比例为4:6时对小麦茎基腐病的防治效果最好。丙环唑和吡唑醚菌酯复配不仅能延长药剂在田间的使用年限,也为小麦茎基腐病的有效防控和小麦的优质高产提供科学的理论依据。

## 参考文献:

- [1] KAZAN K, GARDINER D M. *Fusarium* crown rot caused by *Fusarium pseudograminearum* in cereal crops: recent progress and future prospects[J]. *Molecular Plant Pathology*, 2018, 19(7): 1547-1562.
- [2] LI H L, YUAN H X, FU B, et al. First report of *Fusarium pseudograminearum* causing crown rot of wheat in Henan, China[J]. *Plant Disease*, 2012, 96(7): 1065.

- [ 3 ] 康旭,王晓彤,李国良,等.兼抗河北省茎基腐病致病菌小种的小麦种质筛选[J].河北农业科学,2024,28(4):68-76.  
KANG X, WANG X T, LI G L, et al. Screening of wheat germplasm resistant to stem rot pathogen races in Hebei Province[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2024, 28(4): 68-76. (in Chinese)
- [ 4 ] 朱运启,靳鹏飞,王峭,等.陕西省小麦茎基腐病病原菌鉴定及其致病力分析[J].植物保护学报,2022,49(3):824-831.  
ZHU Y Q, JIN P F, WANG Q, et al. Identification and Pathogenicity Analysis of Wheat Stem Rot Pathogen in Shaanxi Province [J]. Acta Phytopylacica Sinica, 2022, 49(3): 824-831. (in Chinese)
- [ 5 ] XU F, YANG G, WANG J, et al. Spatial distribution of root and crown rot fungi associated with winter wheat in the north China plain and its relationship with climate variables[J]. Frontiers in Microbiology, 2018, 9(1): 1054.
- [ 6 ] 吴玉星,韩森,王亚娇,等.河北省小麦主栽品种对茎基腐病抗性鉴定及评价指标相关性分析[J].植物保护,2023,49(6):267-271,283.  
WU Y X, HAN S, WANG Y J, et al. Resistance identification and correlation analysis of evaluation indexes of main wheat varieties to stem base rot in Hebei Province[J]. Plant Protection, 2023, 49(6): 267-271, 283. (in Chinese)
- [ 7 ] AKGÜL D S, ERKILIC A. Effect of wheat cultivars, fertilizers, and fungicides on *Fusarium* foot rot disease of wheat[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2016, 40(1): 101-108.
- [ 8 ] LAMICHHANE J R, LAUDINOT V, BARBETTI M J, et al. Revisiting sustainability of fungicide seed treatments for field crops [J]. Plant Disease, 2020, 104(1): 610-623.
- [ 9 ] 赵明,邹瑜,龙芳,等.多效唑与诱抗剂互作对香蕉苗生长及抗枯萎病能力的综合效应[J].西南农业学报,2023,36(5):965-973.  
ZHAO M, ZOU Y, LONG F, et al. The comprehensive effect of the interaction between paclobutrazol and inducer on the growth and resistance to *Fusarium* wilt of banana seedlings[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(5): 965-973. (in Chinese)
- [ 10 ] 杨胜雨,杨飞,段海明,等.生防菌代谢物与杀菌剂复配对花生褐斑病菌的抑制活性[J].江汉大学学报(自然科学版),2023,51(2):61-67.  
YANG S Y, YANG F, DUAN H M, et al. Inhibitory activity of the mixture of biocontrol metabolites and fungicides against peanut brown spot disease[J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2023, 51(2): 61-67. (in Chinese)
- [ 11 ] PARKER J E, WARRILOW A G, PRICE C L, et al. Resistance to antifungals that target *CYP51*[J]. Journal of Chemical Biology, 2014, 7(4): 143-161.
- [ 12 ] KANUNGO M, JOSHI J. Impact of pyraclostrobin (F-500) on crop plants[J]. Plant Science Today, 2014, 3(1): 174-178.
- [ 13 ] GRASSO V, PALERMO S, SIEROTZKI H, et al. Cytochrome b gene structure and consequences for resistance to *Qo* inhibitor fungicides in plant pathogens[J]. Pest Manage Science, 2006, 62(6): 465-472.
- [ 14 ] 邢星,李乐乐,杨海明,等.不同杀菌剂对燕麦叶斑病菌的毒力和田间防效[J].东北农业科学,2023,48(4):62-66.  
XING X, LI L L, YANG H M, et al. Toxicity and field control effect of different fungicides on oat leaf spot[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences[J]. 2023, 48(4): 62-66. (in Chinese)
- [ 15 ] 朱峰,王继春,田成丽,等.8种杀菌剂对水稻稻瘟病菌的室内毒力测定及苗期防治效果[J].东北农业科学,2023,48(5):81-83,101.  
ZHU F, WANG J C, TIAN C L, et al. Indoor toxicity determination and seedling control effect of 8 fungicides on rice blast fungus[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(5): 81-83, 101. (in Chinese)
- [ 16 ] 韩丹,王琪,任霞,等.平贝母腐烂病致病菌习性及防治药剂筛选研究[J].东北农业科学,2024,49(2):48-54.  
HAN D, WANG Q, REN X, et al. Study on the habits of pathogenic bacteria and screening of control agents for valsa canker of *Fritillaria ussuriensis*[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(2): 48-54. (in Chinese)
- [ 17 ] 张晓尘,梁健,王巧霞,等.黄芪根部黑斑病菌的分离鉴定及培养特征研究[J].西北农业学报,2024,33(10):2000-2009.  
ZHANG X C, LIANG J, WANG Q X, et al. Study on Isolation, Identification and Culture Characteristics of Black Spot Pathogen in Astragalus Root[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2024, 33(10): 2000-2009. (in Chinese)
- [ 18 ] LIU J L, JIANG J, GUO X h, et al. Sensitivity and resistance risk assessment of *Fusarium graminearum* from wheat to prothioconazole[J]. Plant Disease, 2022, 106(8):2097-2104
- [ 19 ] BRAGARD C, BAPTISTA P, CHATZIVASSILIOU E, et al. Pest categorisation of *Fusarium pseudograminearum*[J]. EFSA Journal European Food Safety Authority, 2022, 20(6): e7399.
- [ 20 ] 吴振锋,王陆军,任淑芳,等.苯醚甲环唑及其复配剂对小麦茎基腐病的防效[J].中国植保导刊,2023,43(9):88-90.  
WU Z F, WANG L J, REN S F, et al. Control effect of difenconazole and its compound on wheat stem rot[J]. China Plant Protection, 2023, 43(9): 88-90. (in Chinese)
- [ 21 ] 张磊磊,闫香凝,原敏婕,等.小麦种质资源茎基腐病抗性鉴定及定位分析[J].植物遗传资源学报,2024,25(2):184-196.  
ZHANG L L, YAN X N, YUAN M J, et al. Identification and mapping analysis of resistance to stalk rot in wheat germplasm resources[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2024, 25(2): 184-196. (in Chinese)
- [ 22 ] 陈宏州,王兵兵,王陈斌,等.丙硫菌唑与三环唑混剂对小麦赤霉病菌的联合毒力及田间防效[J].中国农学通报,2024,40(2):114-120.  
CHEN H Z, WANG B B, WANG C B, et al. Joint toxicity and field control effect of prothioconazole and propiconazole mixture against *Fusarium graminearum* in wheat[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2024, 40(2): 114-120. (in Chinese)
- [ 23 ] HOU Y, CHEN Y, WANG L, et al. Impact of pyraclostrobin on the growth of *Fusarium pseudograminearum* and its control efficacy against wheat crown rot in Henan Province, China[J]. Plant Pathology, 2023, 105(1): 1499-1510.
- [ 24 ] ALIREZA A, STEPHEN E S, HOMA A, et al. Sensitivity of

- western Canadian *Pyrenophora teres f. teres* and *P. teres f. maculata* isolates to propiconazole and pyraclostrobin[J]. Canadian Journal of Plant Pathology, 2017, 39(1): 11–24.
- [25] 刘世江,丁怡,赵琪君,等. 贵州省水稻纹枯病菌对丙环唑和吡唑醚菌酯的敏感性[J]. 福建农业学报, 2019, 34(11): 1294–1301.
- LIU S J, DING Y, ZHAO Q J, et al. Sensitivity of *Rhizoctonia solani* to propiconazole and pyraclostrobin in Guizhou Province [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2019, 34(11): 1294–1301. (in Chinese)
- [26] 李聪聪,吴玉星,王亚娇,等. 咯菌腈和戊唑醇复配对假禾谷镰孢菌丝生长及所致病害的影响[J]. 植物病理学报, 2023, 53(3): 498–507.
- LI C C, WU Y X, WANG Y J, et al. Effects of fludioxonil and tebuconazole on mycelial growth and disease of *Fusarium pseudograminearum*[J]. Phytopathology Research, 2023, 53(3): 498–507. (in Chinese)
- [27] 王鑫雨,高续恒,钱乐,等. 叶菌唑及其复配剂对河南省假禾谷镰孢菌的抑制活性及对小麦茎基腐病的室内防效[J]. 农药学学报, 2024, 26(4): 781–789.
- WANG X Y, GAO X H, QIAN L, et al. Inhibitory activity of metconazole and its mixture on *Fusarium pseudograminearum* in Henan Province and indoor control effect on wheat stem rot[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2024, 26(4): 781–789. (in Chinese)
- [28] 李身,夏彦飞,郭雨薇,等. 适宜于药剂筛选的小麦茎基腐病菌苗期接种方法[J]. 农药, 2022, 61(3): 215–218.
- LI S, XIA Y F, GUO Y W, et al. Seedling inoculation method of wheat stem rot suitable for fungicide screening[J]. Agrochemicals, 2022, 61(3): 215–218. (in Chinese)
- [29] 李梦雨,高续恒,钱乐,等. 己唑醇及其复配剂对河南省禾谷镰孢菌的抑制活性及对小麦赤霉病的室内防效[J]. 农药学学报, 2024, 26(3): 540–548.
- LI M Y, GAO X H, Q L, et al. The inhibitory activity of hexaconazole and its compound on *Fusarium graminearum* in Henan Province and the indoor control effect on wheat scab[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2024, 26(3): 540–548. (in Chinese)
- [30] 海飞,李天杰,郑伟,等. 吡唑醚菌酯与氟环唑复配对小麦叶锈病的防治效果及对小麦的安全性[J]. 农药学学报, 2023, 25(1): 97–103.
- HAI F, LI T J, ZHENG W, et al. The control effect of pyraclostrobin and epoxiconazole on wheat leaf rust and its safety to wheat[J]. Chinese Journal of Pesticide Science, 2023, 25(1): 97–103. (in Chinese)
- [31] 王诗然,王羽,龙昭谊,等. 丙环唑与啞菌酯复配对人参黑斑病(*Alternaria panax*)的毒力增效作用[J]. 农药, 2019, 58(9): 697–700.
- WANG S R, WANG Y, LONG Z Y, et al. The synergistic effect of propiconazole and azoxystrobin on the toxicity of ginseng black spot (*Alternaria panax*) [J]. Agrochemicals, 2019, 58(9): 697–700. (in Chinese)
- [32] 王翀,刘薇,丁声,等. 戊唑醇对油菜菌核病菌作用机制的探讨[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(1): 436–440.
- WANG C, LIU W, DING S, et al. Study on the mechanism of tebuconazole on *Sclerotinia sclerotiorum*[J]. Oil Crop Science, 2010, 32(1): 436–440. (in Chinese)

(责任编辑:范杰英)