周　锋,李冠龙,苏海川,等. 氟环唑与氟啶胺复配对小麦茎基腐病的增效作用[J]. 江苏农业科学,2025,53(6):145 - 151.
doi:10.15889/j.issn.1002 - 1302.2025.06.018

氟环唑与氟啶胺复配对小麦茎基腐病的增效作用

周　锋[1,2], 李冠龙[1,2], 苏海川[1,2], 许思超[1,2], 张昊龙[1], 王龙贺[1], 李卫国[1,2], 刘润强[1,2]
(1. 河南省绿色农药创制与智能传感监测工程技术研究中心/河南科技学院,河南新乡 453003;
2. 河南科技学院资源与环境学院,河南新乡 453003)

摘要:由假禾谷镰刀菌(*Fusarium pseudograminearum*)侵染小麦引起的小麦茎基腐病是当前小麦生产上重要的病害,对小麦的安全生产造成了巨大威胁。因当前尚未选育出能够有效抵抗小麦茎基腐病的高抗小麦品种,当前对其主要以化学药剂防控为主。氟环唑和氟啶胺为当前小麦病害防控中广泛应用的杀菌剂,因其抑菌效果优异而受到广泛好评,但因生产上不科学地施用导致病原菌对其产生抗药性。为了进一步扩大防治谱并延缓病原菌对其产生抗药性,开展了氟环唑与氟啶胺的二元复配及其对假禾谷镰刀菌的抑菌效果评价研究。结果表明,氟环唑和氟啶胺复配对假禾谷镰刀菌表现出了较强的抑菌活性,并在一定质量比范围内表现出显著的增效作用,且当质量比为 3∶7 时共毒系数最高,为 146.85。同时,温室盆栽试验进一步表明,氟环唑和氟啶胺复配后对小麦茎基腐病具有优异的防治效果,复配药剂防效多高于单剂,其中以 4∶6、5∶5、6∶4 和 7∶3 防效最好,分别为 61.43%、63.32%、66.99% 和 62.06%,优于氟环唑、氟啶胺、粉唑醇、戊唑醇和多菌灵单剂的防治效果:55.35%、24.39%、47.83%、53.93% 和 37.92%。表明,氟环唑与氟啶胺复配对假禾谷镰刀菌具有较好的抑菌活性,对小麦茎基腐病具有较强的防控潜力。

关键词:氟环唑;氟啶胺;杀菌剂复配;盆栽试验;小麦茎基腐病
中图分类号:S435.121.4+9　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1002 - 1302(2025)06 - 0145 - 07

小麦是世界上仅次于玉米和水稻的第三大粮食作物[1],由假禾谷镰刀菌 *Fusarium pseudograminearum* 引起的小麦茎基腐病也称小麦冠腐病(*Fusarium* crown rot,简称 FCR),在世界上许多干旱和半干旱地区都有严重发生,其中包括澳大利亚、美国、阿尔及利亚、阿塞拜疆、土耳其、伊朗、伊拉克和叙利亚等国家[2-3]。自 2010 年以来,该病已在我国主要小麦种植区出现[4],特别是在黄淮海地区的小麦与玉米轮作区,因秸秆还田和作物密植等农事操作而发生程度较重,严重限制了小麦的产量提升[5]。同时,小麦籽粒中所存在的真菌毒素也是一个非常重要的食品安全因素。已有研究表明,假禾谷镰刀菌除了侵染小麦茎基部引起茎基腐病严重降低小麦产量之外,还会侵染小麦籽粒产生脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol,简称 DON)、雪腐镰刀菌烯醇(nivalenol,简称 NIV)等多种真菌毒素和次级代谢产物,严重影响食品安全并危害人畜健康[6-7]。人畜不慎摄入脱氧雪腐镰刀菌烯醇进入体内后会引起厌食、恶心、呕吐、腹泻、站立不稳和反应迟钝等急性中毒症状,严重时还会损坏造血系统以及引发人类细胞免疫反应障碍和神经系统紊乱等症状[8]。目前,生产上并不存在对于假禾谷镰刀菌具有高水平抗性的小麦种质资源,虽然存在一些具有中等水平抗性的小麦种质资源,但是这并不能满足小麦的生产实践要求[2],对此类病害防控还是以化学药剂防治为主[1]。但在生产实践中长期、大量及不科学地施用同一种杀菌剂会导致病原菌对杀菌剂产生抗药性[9-10],因此开展不同类型的杀菌剂复配对植物病害的高效防控具有重要的意义。

氟啶胺(fluazinam)属于 2,6 - 二硝基苯胺类广谱杀菌剂,内吸活性低,残效长[11],由日本石原产业株式会社开发,它的作用机制独特,能通过解偶联线粒体氧化磷酸化来中断真菌细胞的能量生产,具有高效性和广谱性,已有研究表明氟啶胺对于葡萄

收稿日期:2024 - 04 - 04
项目简介:河南省中央引导地方科技发展资金项目(编号:Z20221343034);河南省重大科技专项(编号:221100110100);河南省高校科技创新人才支持计划(编号:24HASTTT059);中原科技创新领军人才项目(编号:234200510007);河南省博士后科研资助项目(编号:HN2022109)。
作者简介:周　锋(1986—),男,河南信阳人,博士,副教授,从事植物病害防控研究,E - mail:zfhist@163.com;刘润强(1983—),男,河南许昌人,博士,教授,从事有害生物防控研究,E - mail:liurunqiang1983@126.com。

孢属(*Botrytis*)、链格孢属(*Alternaria*)、核盘菌属(*Sclerotinia*)、疫霉属(*Phytophthora*)和炭疽菌属(*Colletotrichum*)真菌所引起的病害具有很好的防治效果,尤其是对疫病、灰霉病[12-15]。同时,由于氟啶胺属于低抗性风险杀菌剂,且与其他类型的杀菌剂不存在交互抗性[16],所以与其他类型的杀菌剂进行成功复配具有极高的可能性。氟环唑(epoxiconazole)是一种含氟的三唑类杀菌剂,为甾醇生物合成抑制剂,可通过抑制真菌细胞内甲基甾醇合成的关键酶 CYP51,从而抑制真菌细胞膜的合成[17]。氟环唑也是一种广谱性杀菌剂,它对多种麦类作物病害都具有极高的防治效果,如对稻瘟病的防治效果在 75% 以上并且对于赤霉病的防治也具有重要作用[18-19]。同时有研究表明,喷施氟环唑后能够提高农作物的光合作用,调节植物的抗氧化系统,显著减轻病害的严重度[20]。侯颖等最新研究发现,河南省 16 个地市范围内氟环唑对供试菌株菌丝生长的 EC_{50} 值为 0.002 4 ~ 0.505 4 μg/mL,EC_{50} 平均值为(0.109 3 ± 0.095 7) μg/mL,且研究表明氟环唑在离体及温室条件下对小麦茎基腐均有很高的防效[21]。目前,国内登记用于防控小麦茎基腐病的杀菌剂较少(http://w.icama.cn/zwb/dataCenter?hash=reg-info),远远不能满足当前小麦生产上防控茎基腐病的现实需求,更缺少氟环唑和氟啶胺这 2 种药剂复配对小麦茎基腐病的防治效果研究。此外,尽管氟啶胺和氟环唑均尚未登记用于防控小麦茎基腐病,但笔者所在实验室前期研究表明氟啶胺及氟环唑对假禾谷镰刀菌均具有较高的抑菌活性,如氟环唑和氟啶胺单剂对供试假禾谷镰刀菌(SQ-1)的 EC_{50} 分别为 0.089、0.216 μg/mL。并且因为氟环唑和氟啶胺作用位点不同,所以复配剂具有更广阔的杀菌普,能够达到一剂多用、一药多防和有效降低植保工作者工作强度的效果。

为有效防控小麦茎基腐病并在保证防控效果的基础上达到延缓病原菌对杀菌剂产生抗药性以及有效降低田间施药量和降低植保工作者工作强度的目的,本研究开展了氟环唑与氟啶胺的复配研究,以期为有效防控小麦茎基腐病等小麦真菌病害提供有力的数据支撑。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试菌株:本研究中使用的假禾谷镰刀菌 SQ-1 为笔者所在实验室 2019 年采自河南省商丘市发病小麦植株,经分离、纯化和鉴定后实验室保存至今。

供试药剂:98.0% 氟环唑原药、93.8% 戊唑醇原药及 95% 粉唑醇原药均为广西田园生化股份有限公司提供,95.0% 氟啶胺原药购自浙江禾本科技股份有限公司,98.1% 多菌灵原药购自湖北猫尔沃生物医药有限公司。各供试药剂原药均使用丙酮溶解,配制成单剂母液。

供试小麦品种:百农 207(由河南科技学院农学院欧行奇教授惠赠)。

1.2　试验时间及地点

本试验于 2023 年 10 月 6 日在河南省新乡市河南科技学院百泉现代农业研究院开展,于 2024 年 3 月 31 日试验最终完成。

1.3　试验方法

1.3.1　药剂室内毒力测定　取供试药剂,按照有效成分计算,配制一定体积的含药马铃薯葡萄糖琼脂(PDA,马铃薯 20.0 g、葡萄糖 20.0 g、琼脂 20.0 g、蒸馏水 1 000 mL 定容)培养基,PDA 培养基含药浓度为:0.006 25、0.012 50、0.025 00、0.050 00、0.100 00、0.200 00、0.400 00、0.800 00、1.600 00 μg/mL。使用 PDA 培养基,将活化的菌株用打孔器制取 7 mm 直径的菌丝块,分别移到含有供试药液培养基平板上,于 24 ℃ 培养。复配杀菌剂的毒力测定方法亦如上述,不同之处在于要首先配制试验所需的各质量比为 1∶9、2∶8、3∶7 等的复配杀菌剂母液,使用该母液进行试验。待空白对照的菌落直径达到培养皿直径的 90% 左右,采用十字交叉法测量菌落直径,并计算菌丝生长抑制率。将菌丝生长抑制率换算成抑制概率值(y),药剂浓度换算成浓度对数(x),按浓度对数为横坐标、概率值为纵坐标采用软件 SPSS 20.0 求得供试药剂对假禾谷镰刀菌 SQ-1 的毒力回归方程,EC_{50} 及相关系数 r 值。同时,待计算出复配药剂 EC_{50} 后使用该 EC_{50} 作为试验浓度进行试验,对此浓度下供试菌株的生长状态进行观察与分析。

1.3.2　复配药剂共毒系数的计算　以氟环唑为标准药剂相对毒力指数为 100 按照公式分别计算毒力指数(toxicity index,简称 TI)、混剂实际毒力指数(actual toxicity index,简称 ATI)、混剂理论毒力指数(theoretical toxicity index,简称 TTI)、共毒系数(co-toxicity coefficient,简称 CTC)。孙云沛法中的共毒

系数大于 120 为增效作用;小于 80 为拮抗作用;大于 80 而小于 120 为相加作用[22]。

相关数据计算公式:

毒力指数(TI) = 标准药剂的 EC_{50}/供试药剂的 EC_{50} ×100;

混剂实际毒力指数(ATI) = 标准药剂的 EC_{50}/混剂的 EC_{50} ×100;

混剂理论毒力指数(TTI) = A 药剂的 TI × 混剂中的 A% + B 药剂的 TI × 混剂中的 B%;

混剂共毒系数(CTC) = ATI/TTI ×100。

1.3.3　菌丝观察试验　将假禾谷镰刀菌 SQ - 1 菌种接种在插有盖玻片的含药 PDA 平板培养基上避光培养,待菌丝爬上盖玻片的 1/3 面积后,即可取用。选用结构完整的菌丝组织制成可观察的镜检玻片后使用光学显微镜(型号:尼康 - Si)对受到供试药剂影响的菌丝进行观察,照相,记录供试药剂对菌株的影响。

1.3.4　室内盆栽防效试验　按照已报道的试验步骤制作羧甲基纤维素钠(carboxymethylcellulose,简称 CMC)培养基并灭菌,然后用打孔器在供试菌株菌落边缘取直径为 7 mm 的菌饼,取 6 个菌饼放在 CMC 培养基中,25 ℃摇床 150 r/min 培养 2 d,制成浓度为 1×10^5 个孢子/mL 的悬浮液。同时水培足够的小麦种子 1 ~2 d,使其发芽[23]。

根据单剂 EC_{50} 浓度按比例设置复配比例(表 1),同时设置清水、孢子液、单剂处理组与复配药剂组形成试验对照并且以单剂粉唑醇、多菌灵和戊唑醇作为对照药剂验证复配药剂的增效情况。试验操作包括:首先将小麦种子浸在药剂中 5 s 后捞出、晾干,然后把孢子悬浮液用移液枪取 5 μL 注入小麦胚芽,在保证水分充足的情况下培养 14 d,随后使用厘米尺从发病基部到病害浅处测量病斑生长长度,并求平均值。采用软件 SPSS 20.0 和 Prim 9.0.0(121)软件进行数据统计分析和作图,根据病斑长度来评价每种复配组合的防治效果,采用邓肯氏新复极差法进行差异显著性分析($\alpha = 0.05$)。

防治效果 = (孢子液处理组病斑长度 - 复配药剂处理组病斑长度)/孢子液处理组病斑长度 ×100%。

2　结果与分析

2.1　氟环唑和氟啶胺复配后对供试菌株的抑菌活性

试验得氟环唑、氟啶胺、粉唑醇、多菌灵以及戊唑醇单剂对供试假禾谷镰刀菌 SQ - 1 的 EC_{50} 分别为 0.089、0.216、0.601、0.396、0.207 μg/mL,氟环唑与氟啶胺复配剂的 EC_{50} 等数据详见表 2。同时由表 1 和图 1 可知,即便在较低的药物浓度条件下供试复配药剂依旧对假禾谷镰刀菌菌丝的生长造成了重大阻碍,部分复配比例中供试菌株的菌落大小(直径)仅有 CK 的 40%,理论上应为 50% 左右,即 2 种杀菌剂的复配对供试菌株表现出了较强的增效作用。同时,进一步分析发现,在复配杀菌剂当中氟啶胺所占据比例更多时供试药剂对于假禾谷镰刀菌的生长抑制作用更为明显,即在复配药剂对假禾谷镰刀菌菌丝的生长抑制机制中起更多作用的可能是氟啶胺单剂。

表 1　菌丝观察试验与室内盆栽防效试验中各供试药剂的浓度

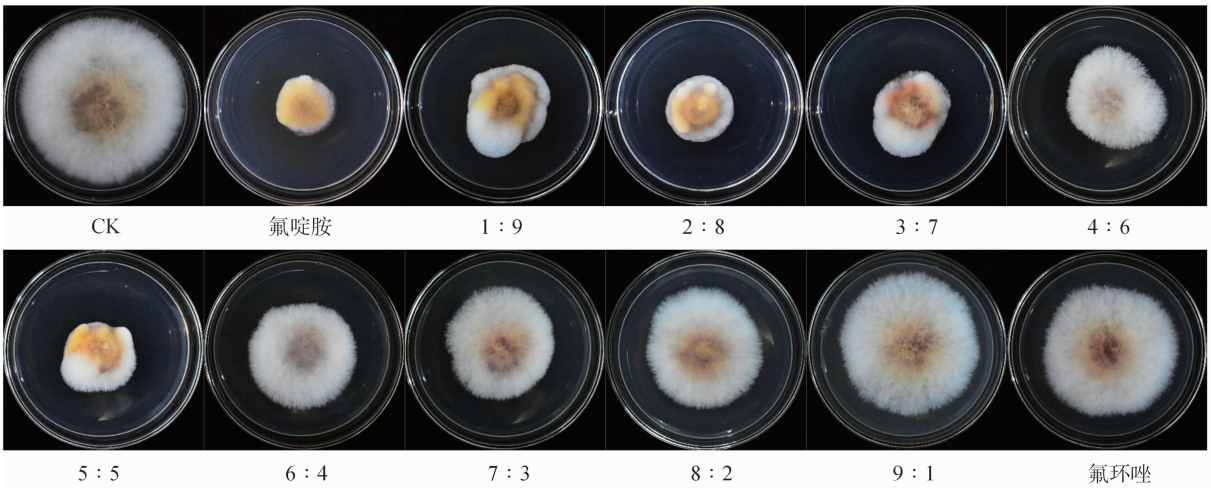
氟环唑 : 氟啶胺	氟环唑浓度 (μg/mL)	氟啶胺浓度 (μg/mL)
0 : 10	0.000 0	0.216 0
1 : 9	0.025 4	0.228 6
2 : 8	0.058 8	0.235 2
3 : 7	0.030 9	0.072 1
4 : 6	0.081 6	0.122 4
5 : 5	0.068 0	0.068 0
6 : 4	0.135 0	0.112 5
7 : 3	0.077 0	0.033 0
8 : 2	0.282 4	0.070 6
9 : 1	0.197 1	0.021 9
10 : 0	0.089 0	0.000 0

表 2　氟环唑与氟啶胺复配对假禾谷镰刀菌(SQ - 1)的室内毒力

氟环唑 : 氟啶胺	EC_{50} (μg/mL)	EC_{95} (μg/mL)	r^2	回归方程
1 : 9	0.254	4.666	0.982	$y = 0.77 + 1.31x$
2 : 8	0.294	4.274	0.987	$y = 0.75 + 1.43x$
3 : 7	0.103	1.042	0.936	$y = 1.60 + 1.60x$
4 : 6	0.204	4.006	0.940	$y = 0.90 + 1.32x$
5 : 5	0.136	7.971	0.973	$y = 0.81 + 0.93x$
6 : 4	0.225	16.710	0.972	$y = 0.57 + 0.87x$
7 : 3	0.110	1.691	0.912	$y = 1.38 + 1.43x$
8 : 2	0.353	6.730	0.984	$y = 0.59 + 1.28x$
9 : 1	0.219	5.376	0.976	$y = 0.80 + 1.21x$

2.2　氟环唑和氟啶胺复配剂增效作用评价

根据孙云配共毒系数法对复配数据分析可知(表 3),当氟环唑与氟啶胺以质量比 3 : 7 进行复配后对假禾谷镰刀菌 SQ - 1 的共毒系数为 146.85 大于 120,表现出较强的增效作用。其他复配组合当



氟啶胺单剂即复配剂中的氟环唑:氟啶胺为 0∶10 时氟环唑剂量为 0 故记录为氟啶胺，同理氟环唑单剂图片的标注亦是如此，其余比例为氟环唑∶氟啶胺为 1∶9、2∶8等以此类推

图1　氟环唑与氟啶胺复配对假禾谷镰刀菌 SQ-1 菌落的生长抑制作用

中 5∶5 和 7∶3 的共毒系数分别为 92.69、98.24，大于 80 而小于 120 表现为相加作用，但是它们的 EC_{50} 值分别为 0.136、0.110，与氟啶胺单剂相比具有较高的毒力，也具有进一步深入研究的价值。剩余的复配组合中共毒系数均小于 80 表现为拮抗作用，但其在生产实践中的表现如何还需要进行相应研究。

表 3　氟环唑与氟啶胺复配对假禾谷镰刀菌 SQ-1 的增效作用

氟环唑∶氟啶胺	EC_{50}（μg/mL）	ATI	TTI	CTC
10∶0	0.089	100.00	—	—
0∶10	0.216	41.20	—	—
1∶9	0.254	35.04	47.08	74.42
2∶8	0.294	30.27	52.96	57.16
3∶7	0.103	86.41	58.84	146.85
4∶6	0.204	43.63	64.72	67.41
5∶5	0.136	65.44	70.60	92.69
6∶4	0.225	39.56	80.60	49.08
7∶3	0.110	80.91	82.36	98.24
8∶2	0.353	25.21	88.24	28.57
9∶1	0.219	40.64	94.12	43.18

注：氟环唑对供试假禾谷镰刀菌 SQ-1 的 EC_{50} 为 0.089 μg/mL，氟啶胺对供试假禾谷镰刀菌 SQ-1 的 EC_{50} 为 0.216 μg/mL；“—”表示缺乏有效数据；ATI 为混剂实际毒力指数，TTI 为混剂理论毒力指数，CTC 混剂共毒系数。

2.3　复配剂对菌株的微观形态观察

通过观察供试药剂对假禾谷镰刀菌菌丝形态的影响，并对所拍摄的菌丝形态图片进行对比分析可知氟环唑和氟啶胺 2 种药剂均对假禾谷镰刀菌具有极强的抑制作用，可以造成菌丝扭曲畸形、细胞壁变薄、菌丝末端分叉增多，严重者甚至导致菌丝干瘪死亡等特征（图 2）；同时，复配药剂能够显著集成 2 种单剂的优点，对假禾谷镰刀菌的菌丝生长起到明显的抑制现象，如复配剂能够极大程度地加强药剂对假禾谷镰刀菌菌丝造成的扭曲畸形、细胞壁变薄、菌丝末端分叉增多等对菌丝生长不利的特征，严重时菌丝整体透明化和菌体破裂，甚至瓦解（图 2）。

2.4　氟环唑和氟啶胺复配对小麦茎基腐病的盆栽防效试验

通过在室内开展氟环唑和氟啶胺复配对小麦茎基腐病的盆栽防效试验，结果表明，与氟环唑和氟啶胺单剂相比，氟环唑和氟啶胺复配之后其防治效果存在明显的提升，并且以 4∶6、5∶5、6∶4 和 7∶3 复配后防治效果显著，分别为 61.43%、63.32%、66.99% 和 62.06%（图 3、图 4），这与氟环唑和氟啶胺单剂防效分别为 55.35% 和 24.39% 相比具有显著优势，同时较一些常用杀菌剂防效相比也具有显著优势，如粉唑醇、戊唑醇和多菌灵这 3 种在生产上常用的杀菌剂在此次防效试验中防效只有 47.83%、53.93% 和 37.92%。同时，在复配杀菌剂共毒系数达到最高的比例 3∶7 时，其防治效果为 58.56%，虽然略低于其他 4 种复配组合，但其防治效果仍优于本试验中的各类单剂。

3　讨论

由假禾谷镰刀菌引起的小麦茎基腐病是当前小麦生产上的重大病害，对小麦的安全生产造成了巨大威胁[2-3,5-7]。因当前尚未选育出能有效抵抗小麦茎基腐病的高产抗病品种，对其仍以化学药剂防治为主[1]。同时，当前登记专门用于防控小麦茎

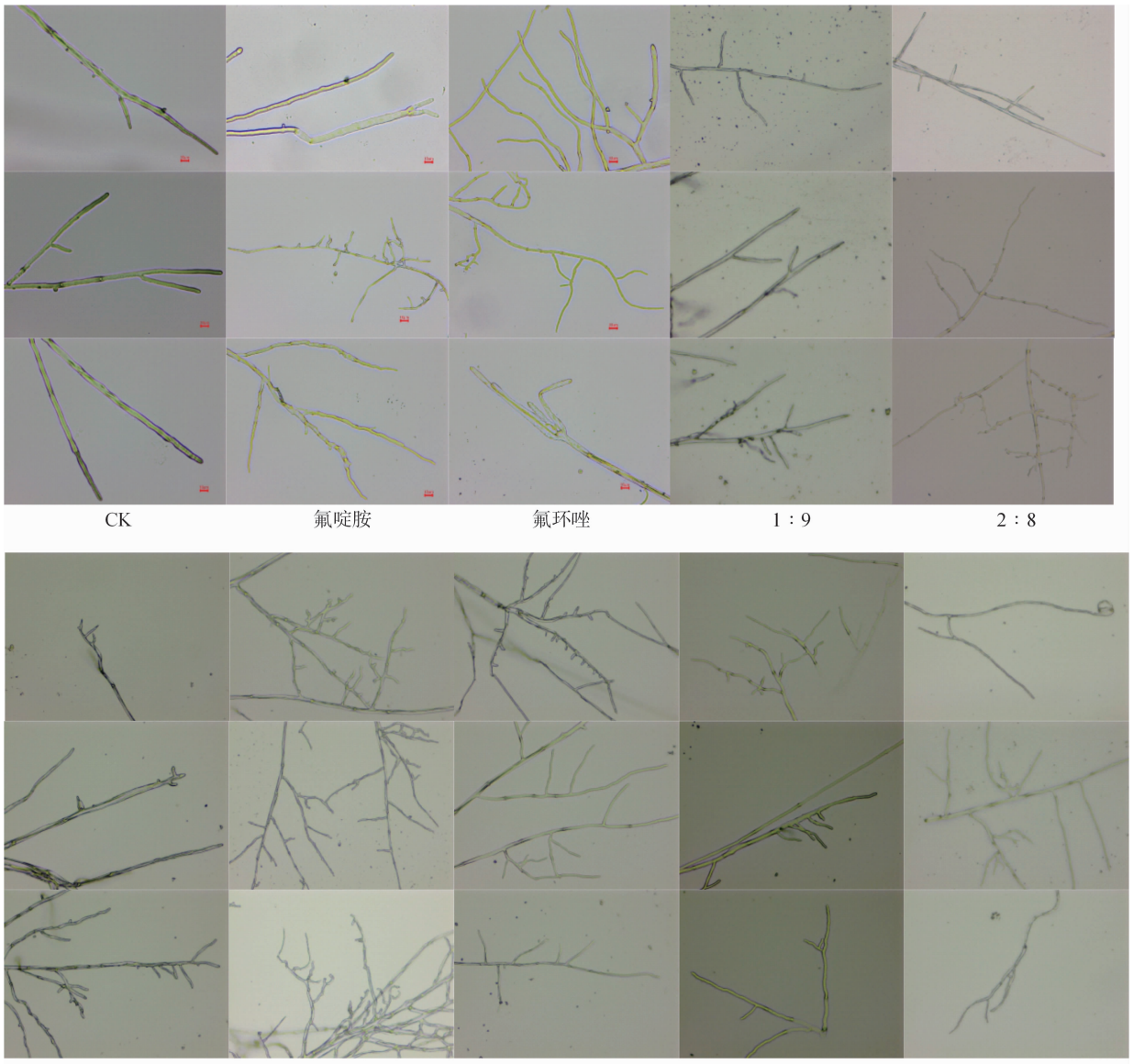


图2　氟环唑和氟啶胺复配对假禾谷镰刀菌菌丝的影响

基腐病的杀菌剂很少(http://w.icama.cn/zwb/dataCenter?hash=reg-info)且防治效果难以保证。为对小麦茎基腐病的科学用药提供数据支撑,笔者所在课题组开展了氟环唑与氟啶胺复配对小麦茎基腐病的增效作用研究。

研究结果表明,氟环唑和氟啶胺虽然尚未登记用于防控小麦茎基腐病,但其单剂抑菌活性很高,EC_{50}分别为 0.089、0.216 μg/mL。其中氟环唑具有降低苗期株高,促进根系发育,提高幼苗根冠比,增加单位质量叶片叶绿素含量的作用,能够有效提高小麦产量[24]。在本次试验中氟环唑 EC_{50} 值处于 0.002 4 ~ 0.505 4 μg/mL之间与侯颖等的研究结果[21]相符,同时氟环唑和氟啶胺的抑菌活性要明显高于多菌灵、氰烯菌酯和醚菌酯 3 种杀菌剂,多菌灵、氰烯菌酯和醚菌酯平均 EC_{50} 分别为(0.750 ± 0.291) μg/mL[25]、(0.471 ± 0.181) μg/mL[26]、(1.304 1 ±0.804 2) μg/mL[27],具有很高的小麦茎基腐病防控能力。

研究证明,通过药剂混配可以使得药剂具有一定的增效作用和增毒作用,同时降低使用量,减少使用次数[28]。如纪祥龙等研究表明,咪鲜胺和己唑醇按照 1∶5 复配对玉米茎基腐病菌具有显著的增效作用[29],陈莉等研究发现,烯唑醇和咪鲜胺按照 1∶10 复配对稻曲病菌具有极高的增效作用[30]。本试验研究表明,氟环唑和氟啶胺复配比为 3∶7 时增效最显著,共毒系数为 146.85(表 3),具有显著的

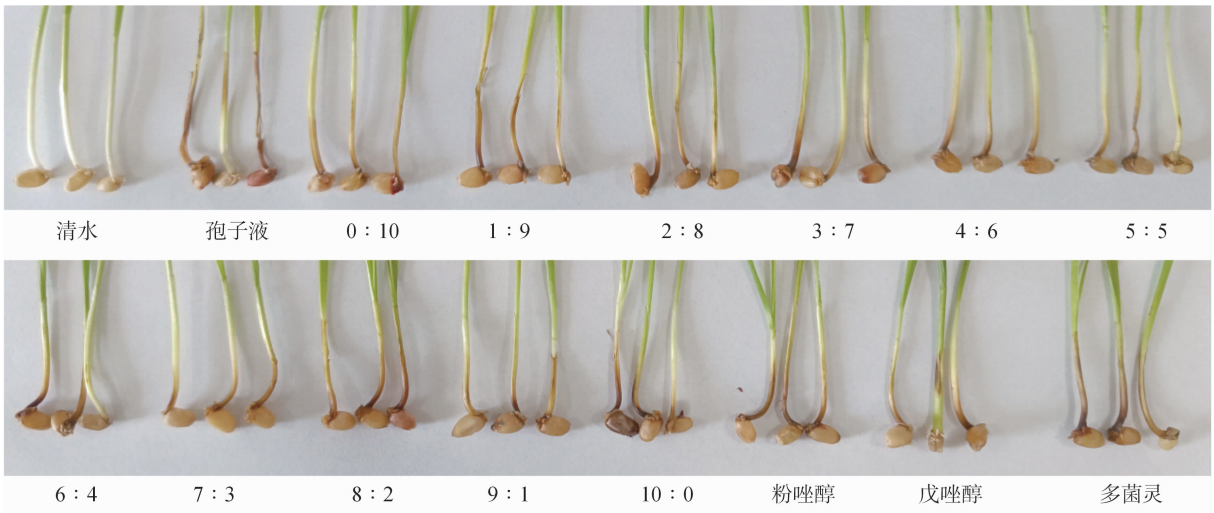


图3　氟环唑和氟啶胺复配对假禾谷镰刀菌 SQ-1 侵染小麦的影响

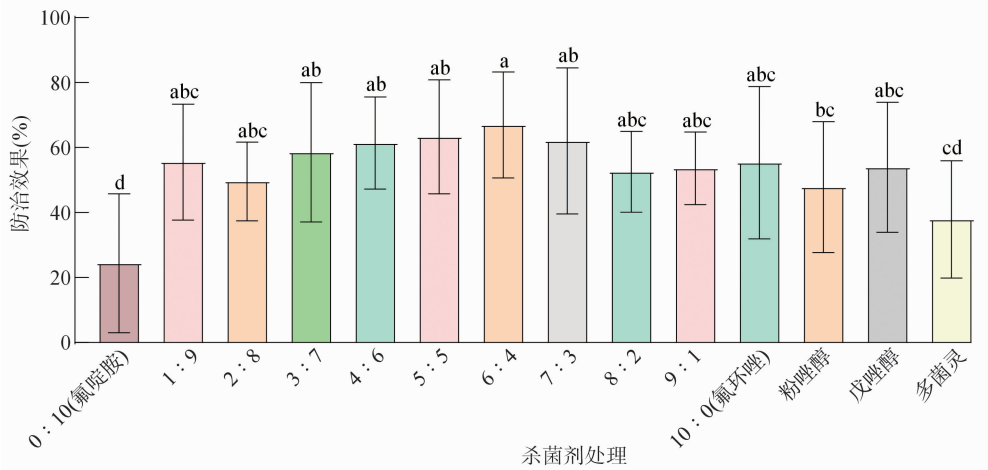


图4　氟环唑和氟啶胺复配对小麦茎基腐病的防治效果

增效作用，进一步研究发现，复配剂对假禾谷镰刀菌的菌丝生长具有极强的抑制作用，严重时会造成菌丝整体透明化、菌体破裂甚至瓦解等特征（图 2），这与王江来等的研究结果相似（供试菌株受药物作用后其菌丝形态结构发生不可逆的变形和破坏，导致其正常的生理功能无法维持而死亡）[31]，推测复配组合因抑制了病原菌体内几丁质等物质的合成而造成细胞壁变薄，致使菌丝极易破裂，这也可能是氟环唑和氟啶胺复配对小麦茎基腐病具有较好防效的主要原因。

温室盆栽试验结果表明，氟环唑和氟啶胺以 4∶6、5∶5、6∶4 和 7∶3 复配后对小麦茎基腐病具有优异的防治效果，其防效分别为 61.43%、63.32%、66.99% 和 62.06%（图 3 和图 4），与吴振锋等的研究结果相比防效较低（小麦返青期喷施 1 次苯醚甲环唑与丙环唑复配剂，灌浆期病株防效为 76.76%）[32]，这可能与处理时期不同有关，但研究结果与氟环唑和氟啶胺单剂防效 55.35% 和 24.39% 相比仍具有显著优势，同时较一些常用杀菌剂防效也具有一定的优势，如粉唑醇、戊唑醇和多菌灵这 3 种生产上常用的杀菌剂在此次防效试验中防效只有 47.83%、53.93% 和 37.92%。此外，本研究还发现了氟环唑和氟啶胺复配对小麦赤霉病及小麦纹枯病也具有较好的防控效果（数据暂未展示）。利用复配药剂防治小麦茎基腐病、小麦赤霉病以及小麦纹枯病可以有效减少成本、延缓病原菌抗药性形成，研究结果对保障小麦的安全生产及粮食安全具有重要意义。

参考文献：

[1] Liu C J, and Ogbonnaya F C. Resistance to *Fusarium* crown rot in wheat and barley: a review [J]. Plant Breeding, 2015, 134 (4): 365 – 372.

[2] 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

[3]Backhouse D,Abubakar A A,Burgess L W,et al. Survey of *Fusarium* species associated with crown rot of wheat and barley in eastern Australia[J]. Australasian Plant Pathology,2004,33(2):255 – 261

[4]Liu X,Wang S,Fan Z Y,et al. Antifungal activities of metconazole against the emerging wheat pathogen *Fusarium pseudograminearum* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2023,190:105298 – 105298.

[5]Zhou H F,He X L,Wang S,et al. Diversity of the *Fusarium* pathogens associated with crown rot in the Huanghuai wheat – growing region of China[J]. Environmental Microbiology,2019,21(8):2740 – 2754.

[6]Kettle A J,Batley J,Benfield A H,et al. Degradation of the benzoxazolinone class of phytoalexins is important for virulence of *Fusarium pseudograminearum* towards wheat[J]. Molecular Plant Pathology. 2015,16(9):946 – 962.

[7]Fan X F,Yan Z,Yang M X,et al. Contamination and translocation of deoxynivalenol and its derivatives associated with *Fusarium* crown rot of wheat in northern China[J]. Plant Disease. 2021,105(11):3397 – 3406.

[8]Deng Y,You L,Wang X,et al. Deoxynivalenol:emerging toxic mechanisms and control strategies,current and future perspectives [J]. Journal of agricultural and food chemistry,2023,71(29):10901 – 10915.

[9]Heckel D G. Perspectives on gene copy number variation and pesticide resistance[J]. Pest Management Science,2022 ,78(1):12 – 18.

[10]Ma C S,Zhang W,Peng Y,et al. Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest[J]. Nature Communications,2021,12(1):5351.

[11]刘长令,翟煜翥,张运晓,等. 防治灰霉病用杀菌剂的开发[J]. 农药,2000,39(3):1 – 6.

[12]Kalamarakis A E,Petsikos – Paragiotarou N,Mavroidis B,et al. Activity of fluazinam against strains of *Botrytis cinerea* resistant to benzimidazoles and/or dicarboximides and to a benzimidazole – phenylcarbamate mixture[J]. Journal of Phytopathology,2000,148(7 – 8):449 – 455.

[13]Mao X W,Li J S,Chen Y L,et al. Resistance risk assessment for fluazinam in *Sclerotinia* sclerotiorum[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2018,144(1):27 – 35.

[14]Qu X P,Li J S,Wang J X,et al. Effects of the dinitroaniline fungicide fluazinam on *Fusarium fujikuroi* and rice[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2018,152(11):98 – 105.

[15]Yin Y,Liu X,Li B,et al. Characterization of sterol demethylation inhibitor – resistant isolates of *Fusarium asiaticum* and *F. graminearum* collected from wheat in China[J]. Phytopathology,2009,99(5):487 – 497.

[16]Leroux P,Fritz R,Debieu D,et al. Mechanisms of resistance to fungicides in field strains of Botrytis cinerea[J]. Pest Management Science,2002,58(9):876 – 888.

[17]Correia M,Rodrigues M,Paíga P,et al. Fungicides – science direct [M]//Encyclopedia of food and health. Amisterdam:Elsevier,2016:169 – 176.

[18]Luo H W,He L X,Du B,et al. Epoxiconazole improved photosynthesis,yield formation,grain quality and 2 – acetyl – 1 – pyrroline biosynthesis of fragrant rice[J]. Rice Science,2022,29(2):189 – 196.

[19]Du P Q,He H R,Zhou L,et al. Different biodegradation potential and the impacted soil functions of epoxiconazole in two soils[J]. Journal of Hazardous Materials,2022,422(1):126787 – 126787.

[20]Honorato J J,Zambolim L,Aucique – Péyez C E,et al. Photosynthetic and antioxidative alterations in coffee leaves caused by epoxiconazole and pyraclostrobin sprays and *Hemileia vastatrix* infection[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2015,123(9):31 – 39.

[21]侯　颖,辛赫文,张　馨,等. 河南省小麦假禾谷镰孢菌对氟环唑的敏感性[J]. 植物病理学报,2023,53(2):307 – 316.

[22]Sun Y P,Johnson E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies[J]. Journal of Economic Entomology. 1960,53(5):887 – 892.

[23]Zhou F,Cui Y X,Zhou Y D,et al. Baseline pydiflumetofen sensitivity of *Fusarium pseudograminearum* isolates collected from Henan,China,and potential resistance mechanisms[J]. Plant Disease,2023,107(8):2417 – 2423.

[24]Mohsin S M,Hasanuzzaman M,Nahar K,et al. Tebuconazole and trifloxystrobin regulate the physiology,antioxidant defense and methylglyoxal detoxification systems in conferring salt stress tolerance in *Triticum aestivum* L.[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants,2020,26(6):1139 – 1154.

[25]殷消茹,徐建强,孙莹等. 河南省假禾谷镰刀菌对多菌灵的敏感性[J]. 农药学学报,2022,24(1):81 – 87.

[26]王季锋,王珊珊,许景升,等. 黄淮麦区假禾谷镰刀菌对 3 种杀菌剂敏感性测定[J]. 植物保护,2023,49(3):333 – 337.

[27]王莉莉,徐建强,朱　凯,等. 醚菌酯对假禾谷镰孢的抑制作用及对小麦茎基腐病的防效研究[J]. 植物病理学报,2022,52(3):434 – 442.

[28]杜庆志,张建业,刘　翔,等. 不同杀菌剂对小麦白粉病菌室内毒力测定及混配增效药剂筛选[J]. 植物保护,2021,47(6):327 – 331.

[29]纪祥龙,王开运,武玉国,等. 防治小麦纹枯病菌和玉米茎基腐病菌的药剂筛选及复配增效评价[J]. 中国农学通报,2023,39(11):108 – 112.

[30]陈　莉,许　娟,丁克坚,等. 药剂对稻曲病菌的毒力测定及复配研究[J]. 植物保护,2012,38(3):159 – 161,167.

[31]王江来,张锦锋,马金秀,等. 香芹酚和丁香酚对腐皮镰刀菌的抑菌活性及抑菌机理[J]. 微生物学通报,2022,49(5):1638 – 1650.

[32]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.