苯醚甲环唑与烯肟菌胺复配防治稻曲病

胡茂林[1,3]， 黄晓冬[2]， 罗来鑫[3]， 李健强[3*]

(1. 华南农业大学农学院，广州 510642；2. 中国农业科学院蔬菜花卉研究所，北京 100081；3. 中国农业大学植物保护学院，北京 100193)

摘要 为筛选防治稻曲病的杀菌剂，本文测定了苯醚甲环唑、烯肟菌胺单剂以及不同比例的混配制剂对稻曲病菌的毒力和联合毒力，并选择具有增效作用的混配药剂进行了田间防效试验。结果表明：苯醚甲环唑和烯肟菌胺按 9∶1 混配对稻曲病菌的抑制作用最强，EC_{50} 为 0.11 μg/mL，共毒系数最大，达 182.91，显示二者按该比例混配具有增效作用。选择该配比加工的复配制剂 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺微乳剂进行田间药效试验，结果表明，喷雾量为有效剂量(下同)180 g/hm² 时，其病穗防效达 79.89%，病粒率防效达 81.94%，高于 5%烯肟菌胺水剂 75 g/hm² 和对照药剂 2.5%井冈霉素·100 亿枯草芽孢杆菌水剂 112.5 g·4.5×10^{13}/hm² 处理，与 25%苯醚甲环唑乳油和对照药剂 300 g/L 苯醚甲环唑·丙环唑乳油均无显著差异。分析认为，5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 可望作为稻曲病防治药剂进行示范和验证试验。

关键词 稻曲病； 苯醚甲环唑； 烯肟菌胺； 复配

中图分类号： S 432.4 **文献标识码**： B **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2017322

Control effect of difenoconazole, SYP-1620 and their mixture on rice false smut disease

HU Maolin[1,3], HUANG Xiaodong[2], LUO Laixin[3], LI Jianqiang[3]

(1. *College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*; 2. *Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*; 3. *College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing* 100193, *China*)

Abstract In order to select effective fungicides for the control of *Ustilaginoidea virens*, toxicities of difenoconazole, SYP-1620 and their mixtures were tested *in vitro*. The mixture with synergistic effect was used in the field experiment. The results showed that the mixture of difenoconazole and SYP-1620 at the proportion of 9∶1 had the best inhibition against *U. virens* with the EC_{50} value of 0.11 μg/mL and co-toxicity coefficient of 182.91. The control efficacy of difenoconazole·SYP-1620 5% ME(9∶1) 180 g/hm² was 79.89% calculated from diseased panicle rate and 81.94% calculated from diseased kernels, which was better than that of SYP-1620 5% AS 75 g/hm² and jingangmycin·100 billion *Bacillus subtilis* 2.5% AS 112.5 g·4.5×10^{13} spore/hm², but no significant difference with difenoconazole 25% EC and difenoconazole·propiconazole 300 g/L EC. Therefore, the mixed formulation of difenoconazole and SYP-1620 5% ME could be applied to control rice false smut disease.

Key words *Ustilaginoidea virens*; difenoconazole; SYP-1620; complex formulation

稻曲病是水稻生产过程中的一种重要病害，在世界各水稻产区均有发生[1-3]。自 20 世纪 80 年代以来，随着我国水稻品种不断更替、杂交稻种植面积扩大以及栽培方式的变化，稻曲病的发生呈现逐年加重趋势，现已发展成为我国水稻上最重要的病害之一[4-5]。目前，国内外主要依赖化学杀菌剂对稻曲病进行防治。同一稻作区连续多年使用单一化学药剂防治，容易导致稻曲病菌抗药性的产生，使防治效果降低。如何开发新型药剂，是当前预防控制稻曲病急需解决的难题。农药复配剂是研制、开发农药新品

收稿日期： 2017-08-25 **修订日期**： 2017-10-29
基金项目： 国家公益性行业(农业)科研专项(200903039-6)
致 谢： 谨向华南农业大学李华平教授、深圳市作物分子设计育种研究院唐晓艳教授在稿件撰写过程中给予的支持和帮助表示感谢。
* 通信作者 E-mail：lijq231@cau.edu.cn

种的重要组成部分[6-7]。苯醚甲环唑是一种安全高效的三唑类内吸性广谱杀菌剂,具有保护、治疗和内吸活性,是甾醇脱甲基化抑制剂,通过抑制细胞壁甾醇的生物合成,阻止真菌的生长;其毒性低,同时具有高效、广谱、低残留、持效期长等特点,因此可在田间应用,充分发挥其保护作用而达到预防病害发生的目的[8-9]。目前在水稻上该药剂主要同丙环唑、井冈霉素和咪鲜胺复配防治稻曲病[10-11]。烯肟菌胺是以天然抗生素 strobilurin 为先导化合物开发的杀菌剂新品种,属于甲氧基丙烯酸酯类。它通过阻止细胞色素 b 和 c 之间的电子传递抑制线粒体的呼吸作用而最终达到杀菌目的;其杀菌谱广、杀菌活性高、具有保护及治疗作用[12]。目前在水稻上该药剂主要以 20%烯肟·戊唑醇 SC 的混配形式登记用于防治稻曲病,但还未见有苯醚甲环唑与烯肟菌胺复配研究的相关报道。

本研究拟通过对苯醚甲环唑和烯肟菌胺两种不同作用机制的药剂进行科学复配,开展室内联合毒力测定并进行田间药效试验,筛选出对稻曲病具有明显防效的新型配方制剂,以期提高病害防治的安全性和有效性,以及延缓稻曲病菌抗药性的产生。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　供试药剂

95%苯醚甲环唑原药(TC),由江苏七洲绿色化工股份有限公司提供;98%烯肟菌胺原药(TC),由沈阳化工研究院提供;300 g/L 苯醚甲环唑·丙环唑乳油(EC),商品名爱苗,购于湖北信风作物保护有限公司;2.5%井冈霉素·100 亿枯草芽孢杆菌水剂(AS),商品名纹曲宁,购于江苏苏科农化有限责任公司;25%苯醚甲环唑乳油(EC),购于江苏兴邦大化集团化工有限公司;99%水杨肟酸购于 Sigma 公司;二甲基亚砜,分析纯,购于北京广达恒益科技有限公司。5%烯肟菌胺水剂(AS)和 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺微乳剂(ME)为本研究室配制。

1.1.2　供试菌株及培养基

稻曲病菌菌株 UV2 由江苏省农业科学院植物保护研究所陈志谊研究员赠予;PSA 培养基(马铃薯 200 g,蔗糖 20 g,琼脂 16 g,去离子水 1 000 mL)。

1.2　试验方法

1.2.1　苯醚甲环唑与烯肟菌胺混配药剂对稻曲病菌的室内联合毒力测定

混配药剂的配制:将苯醚甲环唑与烯肟菌胺原药分别溶于二甲基亚砜(分析纯)中,配成 1.0×10^4 μg/mL 母液备用。将苯醚甲环唑和烯肟菌胺母液按照 10∶0、9∶1、8∶2、7∶3、6∶4、5∶5、4∶6、3∶7、2∶8、1∶9和 0∶10 共 11 个比例混合,配成混合母液;用二甲基亚砜将各混合母液稀释成不同浓度的混配药剂。在预试验的基础上,将各混配药剂浓度设置为 0、0.025、0.05、0.1、0.2、0.4 和 0.8 μg/mL。

混配药剂对稻曲病菌的室内联合毒力测定:取菌龄为 15 d,直径为 5 mm 的菌饼,分别接种于含有系列浓度混配药剂的 PSA 培养基平板上。同时,在所有处理当中均添加 10 μg/mL 的水杨肟酸,以含等量浓度为 1 μL/mL 二甲基亚砜和 10 μg/mL 的水杨肟酸处理为对照,各处理重复 3 次。28℃黑暗条件培养 15 d 后,十字交叉法测量菌落直径,求出各处理对菌丝生长的抑制百分率、毒力回归方程 $Y=aX+b$、有效抑制中浓度 EC_{50}(μg/mL)及相关系数 r。采用孙云沛方法计算混配药剂的共毒系数(CTC),评价混配药剂的联合作用类型。

抑制率=(对照菌落直径−处理菌落直径)/(对照菌落直径−菌饼直径)×100%;

单剂毒力指数=标准药剂 EC_{50}/供试单剂 $EC_{50}\times100$;

混剂实测毒力指数 ATI=标准药剂 EC_{50}/供试混剂 $EC_{50}\times100$;

混剂理论毒力指数 TTI = A 的毒力指数×A 在混剂中的百分含量(%)+ B 的毒力指数×B 在混剂中的百分含量(%);

共毒系数 CTC = ATI/TTI×100。

CTC≤80,为拮抗作用,80<CTC<120 为加和作用,CTC≥120 为增效作用。

1.2.2　苯醚甲环唑与烯肟菌胺复配剂的田间药效试验

按照 1.2.1 试验获得的苯醚甲环唑和烯肟菌胺最佳配比配制 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME。

试验共设 12 个处理:5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 有效剂量(下同)75、120、180 g/hm²;25%苯醚甲环唑 EC 90、105、120 g/hm²;5%烯肟菌胺 AS 37.5、56.25、75 g/hm²;300 g/L 苯醚甲环唑·丙环唑 EC 67.5 g/hm²;2.5%井冈霉素·100 亿枯草芽孢杆菌 AS 112.5 g·4.5×10^{13}/hm² 和不施药的空白对照。每个处理 4 次重复,共计 48 个小区,随机区组排列,每个小区 20 m²,总计 960 m²。试验点选在湖南省常德市汉寿县,水稻栽培品种为'丰源优 299'。

施药方法：采取均匀喷雾处理。称取每处理 4 次重复所需的药剂，按照每公顷兑水 750 L 用药量配制药液，利用喷雾器在水稻破口前 5～9 d 和抽穗始盛期，分别施药 1 次，施药时间均选择在下午 16:00 左右，若施药后 12 h 内遇雨天，第二天选择补施。

供试稻田田间管理：供试稻田田间管理在虫害管理方面按照正常的管理进行。试验期间不再使用其他化学药剂防治真菌病害。田间栽培管理按照当地高产栽培方式进行。

调查方法：于第二次施药后 14 d 调查 1 次。每小区随机 5 点取样，每点随机调查 5 穴，共查 100 穴/处理，记录各处理病穗率、病粒率，并计算防效。

病穗(粒)率＝[病穗(粒)数/调查总穗(粒)数]×100%；

防治效果＝(空白对照区病穗(粒)率－药剂处理区病穗(粒)率)/空白对照区病穗(粒)率×100%。

2 结果与分析

2.1 苯醚甲环唑与烯肟菌胺混配药剂对稻曲病菌的联合毒力

苯醚甲环唑和烯肟菌胺 11 个不同配比的混配药剂对稻曲病菌的毒力测定结果见表 1。结果表明，苯醚甲环唑和烯肟菌胺按 9:1比例配比对稻曲病菌的抑制作用最大(图 1)，EC_{50} 为 0.11 μg/mL，共毒系数为 182.91，表现为增效作用；其次为 8:2比例配比，EC_{50} 为 0.16 μg/mL，共毒系数为 126.59，亦表现为增效作用；按 7:3、6:4、5:5、4:6、3:7和 2:8比例配比时，混配药剂对稻曲病菌的 EC_{50} 在 0.17～0.40 μg/mL 之间，均表现为加和作用；按 1:9比例配比时，对稻曲病菌的抑制作用最小，EC_{50} 为 0.48 μg/mL，共毒系数为 48.10，表现为拮抗作用。

表 1 苯醚甲环唑与烯肟菌胺复配剂对稻曲病菌的毒力回归方程及共毒系数

Table 1 Toxicity regression equation and co-toxicity coefficient of mixture of difenoconazole and SYP-1620 on *Ustilaginoidea virens*

V(苯醚甲环唑):V(烯肟菌胺) V(difenoconazole):V(SYP-1620)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	相关系数(r) Correlation coefficient	EC_{50} μg/mL	混剂实测毒力指数 ATI Toxicity index of mixture	共毒系数 CTC Co-toxicity coefficient
10:0	$y=1.331\ 7x+5.953\ 6$	0.92	0.19	—	—
9:1	$y=2.111\ 4x+7.048\ 3$	0.98	0.11	179.60	182.91
8:2	$y=1.782\ 2x+6.429\ 5$	0.99	0.16	121.90	126.59
7:3	$y=1.781\ 6x+6.364\ 5$	0.93	0.17	112.19	118.74
6:4	$y=1.376\ 7x+5.882\ 1$	0.97	0.23	84.08	90.76
5:5	$y=1.445\ 6x+5.694\ 8$	0.99	0.33	58.15	64.03
4:6	$y=1.312\ 7x+5.606\ 6$	0.99	0.35	55.74	62.65
3:7	$y=1.375\ 9x+5.803\ 8$	0.99	0.26	73.82	84.72
2:8	$y=0.963\ 4x+5.383\ 8$	0.99	0.40	48.12	56.42
1:9	$y=1.147\ 5x+5.366\ 8$	0.99	0.48	40.15	48.10
0:10	$y=0.973\ 3x+5.611\ 1$	0.99	0.24	—	—

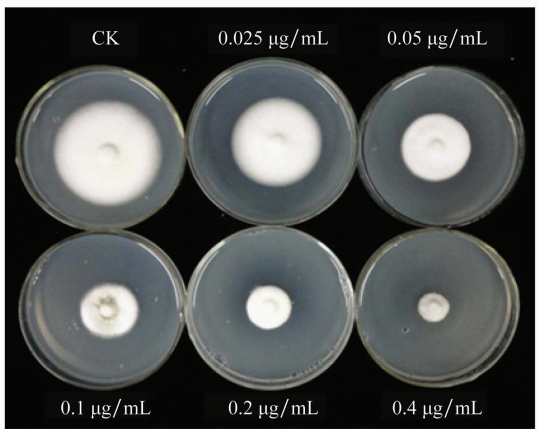


图 1 苯醚甲环唑和烯肟菌胺 9:1配比的混配药剂对稻曲病菌的抑制作用

Fig. 1 Inhibition of mixture of difenoconazole and SYP-1620 (9:1 v/v) against *Ustilaginoidea virens*

2.2 苯醚甲环唑与烯肟菌胺复配的田间防治效果

综合评价室内联合毒力测定结果，选择 9:1作为苯醚甲环唑和烯肟菌胺的最佳复配比例，制备 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 用于田间药效试验。结果(表 2)显示，25%苯醚甲环唑 EC 120 g/hm² 的病穗防效最好；其次为 300 g/L 苯醚甲环唑·丙环唑 EC 67.5 g/hm²；5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 3 个施用剂量当中，180 g/hm² 用药量处理的病穗防效最好，达到 79.89%，病粒率防效超过 81%，与对照药剂 300 g/L 苯醚甲环唑·丙环唑 EC 67.5 g/hm² 相当，且其防效高于单剂 5%烯肟菌胺 AS 所有的剂量处理和对照药剂 2.5%井冈霉素·100 亿枯草芽孢杆菌 AS，与单剂 25%苯醚甲环唑 EC 的 3 个剂量处理和对照药剂 300 g/L 苯醚甲环唑·丙环唑 EC 67.5 g/hm²

处理均无显著差异;混配制剂成本比单独使用苯醚甲环或烯肟菌胺大大降低,说明苯醚甲环唑和烯肟菌胺按照 9∶1混配的 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 对稻曲病具有明显的防治效果。

表 2　第二次施药 14 d 后 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺微乳剂防治稻曲病田间药效试验结果1)

Table 2　Control effect of difenoconazole·SYP-1620 5% ME(9∶1) on false smut in rice field 14 d after second application

药剂处理 Treatment	有效成分用药量/g·(hm²)⁻¹ Dosage	病穗率/% Diseased panicle rate	病粒率/% Diseased kernel rate	病穗防效/% Control efficacy of diseased panicle	病粒防效/% Control efficacy of diseased kernel
5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME difenoconazole·SYP-1620 5% ME	75	5.862 b	0.073 b	55.57	34.88
	120	3.777 c	0.030 c	71.38	73.04
	180	2.653 d	0.020 c	79.89	81.94
5%烯肟菌胺 AS SYP-1620 5% AS	37.5	3.884 c	0.024 c	70.57	78.83
	56.25	3.869 c	0.026 c	70.68	77.10
	75	3.418 c	0.028 c	74.10	75.15
25%苯醚甲环唑 EC difenoconazole 25% EC	90	2.782 d	0.020 c	78.92	82.10
	105	2.676 d	0.023 c	79.72	79.22
	120	2.493 d	0.019 c	81.11	83.20
300 g/L 苯醚甲环唑·丙环唑 EC difenoconazole·propiconazole 300 g/L EC	67.5	2.631 d	0.018 c	80.06	83.90
2.5%井冈霉素·100 亿枯草芽孢杆菌 AS jingangmycin·100 billion *Bacillus subtilis* 2.5% AS	112.5 g+4.5×10¹³孢子	3.736 c	0.024 c	71.69	78.32
空白对照 Blank control	—	13.190 a	0.112 0 a	—	—

1) 同列不同小写字母代表在 0.05 水平上差异显著。
Different small letters in same column indicate significant difference at 0.05 level.

3　结论与讨论

苯醚甲环唑与烯肟菌胺具有不同的作用机制[13-17],两者复配有利于扩大病害防治谱,延缓抗药性的发生发展。本试验对两种供试药剂室内联合毒力测定结果表明,苯醚甲环唑和烯肟菌胺按 9∶1和8∶2两种比例配比时表现为增效作用。综合考虑田间实际用药量的需要及室内联合毒力测定结果,选择 9∶1作为苯醚甲环唑与烯肟菌胺复配制剂的最佳复配比例,并按此比例进行复配制剂的制备。

对复配制剂 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 的田间防病效果进行了检验。综合考虑田间防效、有效成分用量成本及抗药性产生的风险等情况,推荐 5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 的最佳施用浓度为 180 g/hm²,每公顷兑水 750 L 配制药液,利用喷雾器在水稻破口前 5～9 d 和抽穗始盛期分别喷雾 1 次,施药时间选择在下午 16∶00 左右进行,若施药后 12 h 内遇雨天,第二天补施一次。

目前,苯醚甲环唑主要与丙环唑、井冈霉素和咪鲜胺进行复配登记防治稻曲病,烯肟菌胺主要与戊唑醇进行复配防治稻曲病[18-20],而未见有苯醚甲环唑与烯肟菌胺进行复配的报道。通过不同作用机制药剂的混配及新型药剂的应用,有利于扩大防治谱、延缓抗药性的产生。因此,5%苯醚甲环唑·烯肟菌胺 ME 作为稻曲病防治及延缓和治理稻曲病菌抗药性发生发展的混配制剂具有较好的推广应用潜力。然而,为进一步明确苯醚甲环唑与烯肟菌胺复配对稻曲病的防治效果,仍需开展连年多点田间试验。

参考文献

[1] 胡东维,王疏. 稻曲病菌侵染机制研究现状与展望[J]. 中国农业科学,2012,45(22):4604-4611.

[2] HU Maolin, LUO Laixin, WANG Shu, et al. Infection processes of *Ustilaginoidea virens* during artificial inoculation of rice panicles [J]. European Journal of Plant Pathology, 2014, 139(1): 67-77.

[3] ZHANG Yong, ZHANG Kang, FANG Anfei, et al. Specific adaptation of *Ustilaginoidea virens* in occupying host florets revealed by comparative and functional genomics[J]. Nature Communications, 2014, 5: 3849.

[4] FAN Jing, YANG Juan, WANG Yuqiu, et al. Current understanding on *Villosiclava virens*, a unique flower-infecting fungus causing rice false smut disease [J]. Molecular Plant Pa-

thology, 2016, 17(9): 1321 - 1330.

[5] YONG Mingli, FAN Linlin, LI Danyang, et al. *Villosiclava virens* infects specifically rice and barley stamen filaments due to the unique host cell walls [J]. Microscopy Research and Technique, 2016, 79(9): 838 - 844.

[6] 赵占周. 农药混配与复配制剂使用[J]. 西北园艺(果树), 2017(1): 9 - 10.

[7] 张文吉, 李学锋. 关于农药复配制剂研究开发的几点认识[J]. 农药科学与管理, 1994(4): 40 - 42.

[8] 华乃震. 杀菌剂苯醚甲环唑的进展和应用[J]. 世界农药, 2013(35): 7 - 12.

[9] 李军民, 唐浩, 祖智波, 等. 苯醚甲环唑的合成研究[J]. 农药应用与研究, 2009, 13(1): 18 - 21.

[10] 阮宏椿, 杨秀娟, 石妞妞, 等. 不同杀菌剂对水稻稻曲病菌的室内毒力及田间药效[J]. 福建农业学报, 2013, 28(6): 580 - 583.

[11] 中国农药信息网. http://www.chinapesticide.gov.cn/hysj/index.jhtml.

[12] 司乃国, 刘君丽, 郎兆光, 等. 新型杀菌剂烯肟菌胺及应用技术[J]. 新农业, 2010(1): 47 - 48.

[13] GISI U, CHIN K M, KNAPOVA G, et al. Recent developments in elucidating modes of resistance to phenylamide, DMI and strobilurin fungicides [J]. Crop Protection, 2000, 19(8/10): 863 - 872.

[14] 张舒亚, 周明国. 甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂的生物学及应用技术研究[M]. 中国植物病害化学防治研究(第三卷). 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 1 - 10.

[15] 柏亚罗. Strobilurins 类杀菌剂研究开发进展[J]. 农药, 2007, 46(5): 289.

[16] 华乃震. Strobilurins 类杀菌剂品种、市场、剂型和应用(Ⅰ)[J]. 现代农药, 2013, 12(3): 6 - 11.

[17] 华乃震. Strobilurins 类杀菌剂品种、市场、剂型和应用(Ⅱ)[J]. 现代农药, 2013, 12(4): 6 - 11.

[18] 魏广太, 周保东, 周燕. 25%苯醚甲环唑 EC 对水稻纹枯病和稻曲病的防治试验[J]. 现代农药, 2009, 8(2): 51 - 53.

[19] 汪爱娟, 王国荣, 孙磊, 等. 稻曲病防治药剂筛选及防控技术研究[J]. 中国稻米, 2015, 21(6): 45 - 51.

[20] SU Xianyan, CHEN Yu, REN Xuexiang, et al. Biological activity of several fungicides against *Ustilaginoidea virens* [J]. Agricultural Science & Technology, 2015, 16(10): 2299 - 2303.

(责任编辑: 杨明丽)

图书推荐——

《菌物进化系统学》(中译本)



菌物分类学是从事微生物工作的基础。2014年至2015年，美国菌物学家D. J. 麦克劳克林和J. W. 斯帕塔福拉组织全世界71位一线研究者编著的《菌物进化系统学》(第二版)，是近20年来全世界第一部权威的真菌进化系统学专著。该书是相关人士了解菌物分类进展、查阅菌物分类鉴定命名的必备参考。中文版由秦国夫、刘小勇主译，戴玉成校对，科学出版社2018年1月份出版。全书共25章，880页，134万字，铜版彩色印刷。

定价：398元

联系人：明朗书店—李秋艳
联系电话/微信：13940061709
Qq：66305872　邮编：110031
开户行：中国光大银行沈阳皇姑支行
汇款账户：6214911900026086

科学出版社